

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JAMES STAHL

**ESTRATÉGIAS SILVICULTURAIS DE MANEJO DA ADUBAÇÃO PARA  
POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. NO PLANALTO SUL CATARINENSE E NA  
REGIÃO DE TELÊMACO BORBA, PARANÁ**

CURITIBA  
2018

JAMES STAHL

**ESTRATÉGIAS SILVICULTURAIS DE MANEJO DA ADUBAÇÃO PARA  
POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. NO PLANALTO SUL CATARINENSE E NA  
REGIÃO DE TELÊMACO BORBA, PARANÁ**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador(a): Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo  
Co-Orientadores: Prof. Dr. Mauro Valdir Schumacher  
Prof. Dra. Karen Koch Fernandez  
de Souza

CURITIBA  
2018

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Stahl, James

Estratégias silviculturais de manejo da adubação para povoamentos de *Pinus taeda* L. no planalto sul catarinense e na região de Telêmaco Borba, Paraná / James Stahl. – Curitiba, 2018.  
101 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo

Coorientadores: Prof. Dr. Mauro Valdir Schumacher

Profa. Dra. Karen Koch Fernandez de Souza

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 22/02/2018.

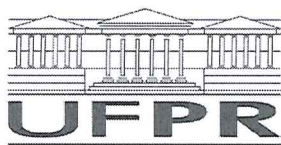
Área de concentração: Silvicultura.

1. Sistemas silviculturais – Santa Catarina. 2. Sistemas silviculturais – Paraná. 3. *Pinus taeda*. 4. Teses. I. Angelo, Alessandro Camargo. II. Schumacher, Mauro Valdir. III. Souza, Karen Koch Fernandez de. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.2(816)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
FLORESTAL

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **JAMES STAHL** intitulada: **ESTRATÉGIAS SILVICULTURAIS DE MANEJO DA ADUBAÇÃO PARA POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. NO PLANALTO SUL CATARINENSE E NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA, PARANÁ**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 16 de Março de 2018.

ALESSANDRO CAMARGO ANGELO  
Presidente da Banca Examinadora

KAREN KOCH FERNANDES DE SOUZA  
Avaliador Externo

SANDRA REGINA CABEL  
Avaliador Externo

JOSILÉIA ACORDI ZANATTA  
Avaliador Externo

ANTONIO CARLOS VARGAS MOTTA  
Avaliador Externo



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente a DEUS, pela vida, saúde e paz e por cada novo dia nesta jornada de desafios.

Aos meus pais, Ermelindo e Maria, que sempre incentivaram e apoiaram este sonho acadêmico, desde o início até essa presente etapa. A toda a minha família que depositou confiança em todas as minhas decisões.

Ao Professor Dr. Alessandro Camargo Angelo, meu orientador, pela confiança no meu trabalho, por todo o meu aprendizado, pelo seu profissionalismo, pela amizade e por todas as oportunidades que me ofereceu.

Ao mestre e amigo Ph.D Djalma Miler Chaves pelo incentivo e por suas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho, através de sua experiência e conhecimento.

A todos os professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR pela oportunidade e compreensão, em se tratando de um doutorado sem dedicação exclusiva.

A Klabin pela oportunidade e incentivo na qualificação de seus técnicos. A todos os colegas de empresa, em especial do time da Pesquisa Florestal.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

E, em especial a minha esposa Cristiane, que com paciência e companheirismo acompanhou todos os momentos dessa jornada.

O meu muito obrigado!

## RESUMO

As áreas reflorestadas com *Pinus taeda* L. constituem a mais importante fonte da base florestal para a cadeia produtiva do setor madeireiro do Sul do Brasil. Em função da sua boa adaptação e dos níveis satisfatórios de produtividade o *P. taeda* foi considerado uma espécie rústica e de baixa exigência em manejo silvicultural pela grande maioria de seus produtores. Entretanto, as informações sobre manejo e resposta à adubação para esta espécie ainda são pontuais. Diante desse cenário, o tema central deste trabalho foi analisar os dados e os resultados de uma rede experimental, instalada no Planalto Sul Catarinense e na região de Telêmaco Borba, PR, que visava responder questões relacionadas aos efeitos da adubação em plantios comerciais de *P. taeda*, tendo como objetivos principais: avaliar a influência da adubação fosfatada de plantio, estudar o efeito de doses crescentes e a forma e posicionamento dessa adubação no crescimento da espécie. Ainda quantificaram-se os níveis de resposta de adubação realizada em meia-rotação de plantios já estabelecidos nessas regiões. Os dados foram gerados a partir de experimentos de campo, sendo dois em Telêmaco Borba, avaliando o efeito das doses de fósforo e os outros dois experimentos, no Planalto Sul Catarinense, avaliando o efeito da forma e posicionamento da adubação. Os dados da adubação em meia-rotação foram oriundos de uma rede de 18 blocos de parcelas pares testando um tratamento de adubação em relação à testemunha, metade dos blocos foram instalados em cada região. Amostras de solo foram coletadas para caracterização das áreas experimentais e as respostas foram calculadas a partir dos dados de inventários realizados nas parcelas. Os resultados mostraram que o uso de adubação fosfatada promoveu ganhos significativos na produtividade de *P. taeda* até sete anos de idade plantados em Latossolo Vermelho de textura média na região de Telêmaco Borba e que a resposta se deu de forma linear com máxima produção para a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> adicionados logo após o plantio. Já no Latossolo Vermelho de textura argilosa, não houve resposta significativa ao uso de adubação fosfatada até os sete anos de idade. Em relação à forma e ao posicionamento da adubação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para Cambissolos e Nitossolos argilosos do Planalto Sul Catarinense, não houve diferenças significativas entre os tratamentos de localizar a dose em covetas laterais distantes entre 10, 20 ou 30 cm das mudas e a aplicação de forma superficial. As medias dos tratamentos com adubação foram superiores à testemunha, porém estatisticamente diferentes aos 12,5 anos somente para o Cambissolo. A resposta à adubação em meia-rotação variou de -9,9 à 27,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com a média de todos os blocos de 3,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo os blocos de menor índice de sítio os mais responsivos. Para resultado econômico positivo da adubação em meia rotação, é necessário um nível de resposta de 2,8 e 3,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para Telêmaco Borba e região do Planalto Sul Catarinense, respectivamente, em um período de oito anos.

Palavras-chave: Pinus, silvicultura, adubação

## ABSTRACT

The areas reforested with *Pinus taeda* L. represent the most important forest base for the productive chain of the wood sector of Southern of Brazil. Due to its good adaptation and higher levels of productivity, *P. taeda* was considered a well adapted species with low demands of silvicultural management by the great majority of wood producers. However, the information on management and response to fertilization for this species is still incipient. In this scenario, the central theme of this work was to analyze the data and results of an experimental network, installed in the Southern Plateau of Santa Catarina and in the region of Telêmaco Borba, to answer questions related to the effects of fertilization on commercial plantations of *P. taeda*, with the main objectives of evaluate the influence of phosphate fertilization, the effect of increasing rates and the form and position of fertilizer on the growth of the species. The fertilizer responses obtained in mid-rotation of established plantations in these regions were also quantified. The data were generated from field experiments: two in Telêmaco Borba, to evaluate the effect of phosphorus rates, and two other experiments in the Southern Plateau of Santa Catarina, to evaluate the responses of form and placement of the fertilizer. Mid-rotation fertilization data were obtained from a network of 18 blocks of twin plots testing fertilizer treatments in relation to the control, half of the blocks were installed in each region. Soil composited samples were collected and analyzed to characterize the experimental areas and the growth responses were calculated from the forest inventory data from each plot. The results showed that the use of phosphate fertilization promoted significant gains in productivity of *P. taeda* up to seven years of age planted in Red Oxisol of medium texture in the region of Telêmaco Borba, the response was linear with maximum production for the rate of 100 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, added soon after planting. In the Red Oxisol of clay texture, there was no statistically significant response to the use of phosphate fertilization based on the measurements done for a period of seven years. In relation to the form and placement of the 75 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fertilization for clayey Inceptisol and Oxisol of the Southern Plateau Santa Catarina, there were no significant differences among treatments to localized rate in lateral slits distant 10, 20 and 30 cm from the seedlings or surface application. The means of the treatments with fertilization were superior to the control, but statistically different only for the Inceptisol at 12.5 years of age. The responses to Mid-rotation fertilization ranged from -9.9 to 27.6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The average response for all blocks were 3.5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The blocks with lower site index were the most responsive. For economic results in mid rotation, the fertilization response levels of 2.8 and 3.3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> is required for Telemaco Borba and the region of Southern Plateau of Santa Catarina, respectively, over a period of eight years.

Key words: *Pinus*, silviculture, fertilization

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - RESPOSTA EM VOLUME PARA <i>Pinus taeda</i> AOS DOIS ANOS DE IDADE, EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO AO SOLO, EM LATASSOLO VERMELHO DE TEXTURA ARGILOSA E MÉDIA .....	38
FIGURA 02 - RESPOSTA EM VOLUME PARA <i>Pinus taeda</i> AOS SETE ANOS DE IDADE, EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO AO SOLO, EM LATASSOLO VERMELHO DE TEXTURA ARGILOSA E MÉDIA .....	39
FIGURA 03 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DA FORMA E POSICIONAMENTO DOS TRATAMENTOS COM ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	52
FIGURA 04 - CRESCIMENTO EM VOLUME DE <i>P. taeda</i> SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO .....	57
FIGURA 05 - CRESCIMENTO EM VOLUME DE <i>P. taeda</i> SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO .....	61
FIGURA 06 - LOCALIZAÇÃO DOS BLOCOS DE PARCELAS GÊMEAS .....	74
FIGURA 07 - VOLUME INICIAL DAS PARCELAS TESTEMUNHA (A) E A SEREM ADUBADAS (B) NO INVENTÁRIO DE ANTES DA ADUBAÇÃO .....	78
FIGURA 08 - VOLUME INICIAL DAS PARCELAS TESTEMUNHA (A) E A SEREM ADUBADAS (B) NO INVENTÁRIO DE ANTES DA ADUBAÇÃO. a) PARCELAS EM TELEMACO BORBA E b) PARCELAS NO PLANALTO SUL CATARINENSE .....	79
FIGURA 09 - RELAÇÃO ENTRE INCREMENTO PERIODICO ANUAL DAS PARCELAS DO TRATAMENTO TESTEMUNHA ( $IPA_A$ ) E TRATAMENTO ADUBADO ( $IPA_B$ ) NO PERÍODO 1 .....	80
FIGURA 10 - RELAÇÃO ENTRE INCREMENTO PERIODICO ANUAL DAS PARCELAS DO TRATAMENTO TESTEMUNHA ( $IPA_A$ ) E TRATAMENTO ADUBADO ( $IPA_B$ ) NO PERÍODO 2 .....	81
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DA RESPOSTA A ADUBAÇÃO (RA) NO PERÍODO 2 NOS BLOCOS EXPERIMENTAIS .....	83



## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO NAS CAMADAS 0-20 E 20-40 cm NA ÁREA EXPERIMENTAL DE LATOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA E TEXTURA MÉDIA .....	33
TABELA 02 - VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO A 1,30 M (DAP) E ALTURA (h) DE <i>Pinus taeda</i> AOS DOIS E SETE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) EM LATOSSOLO VERMELHO DE TEXTURA ARGILOSA E MÉDIA .....	35
TABELA 03 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM VALORES DE QUADRADO MÉDIO (QM) DE VOLUME TOTAL DE <i>Pinus taeda</i> AOS DOIS E SETE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) EM LATOSSOLO VERMELHO DE TEXTURA ARGILOSA E MÉDIA.....	37
TABELA 04 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO NAS CAMADAS 0-20 E 20-40 cm NO EXPERIMENTO I E EXPERIMENTO II.....	51
TABELA 05 - VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO DO COLO A 50 CM (Dc), ALTURA TOTAL (h) E VOLUME DE <i>P. taeda</i> COM DOZE MESES DE IDADE SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO .....	54
TABELA 06 - VOLUME MÉDIO DE <i>P. taeda</i> COM 4, 8 E 12,5 ANOS DE IDADE SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO .....	56
TABELA 07 - VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO DO COLO A 50 cm (Dc), ALTURA TOTAL (h) E VOLUME DE <i>P. taeda</i> COM DEZOITO MESES DE IDADE SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO .....	58
TABELA 08 - VOLUME MÉDIO DE <i>P. taeda</i> COM 4, 8 E 11,5 ANOS DE IDADE SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO .....	59
TABELA 09 - MATÉRIA SECA (MS), TEOR DE FÓSFORO (P%) E FÓSFORO ACUMULADO (P) NA SERAPILHEIRA EM <i>P. taeda</i> COM 12,5 ANOS DE IDADE SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO E COM 11,5 ANOS SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO .....	62
TABELA 10 - TEORES MÉDIOS DE FÓSFORO (MELICH 1) NAS CAMADAS 0 - 20 E 20 - 40 cm EM PLANTIO DE <i>P. taeda</i> COM 12,5 ANOS SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO E COM 11,5 ANOS SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO .....	63
TABELA 11 - INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL (IPA) DE <i>P. taeda</i> DAS PARCELAS DO TRATAMENTO TESTEMUNHA (A) E TRATAMENTO ADUBADO (B) NOS PERÍODOS 1 E 2 NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA E NO PLANALTO SUL CATARINENSE.....	82

TABELA 12 - MÉDIAS DA RESPOSTA A ADUBAÇÃO (RA) POR LOCAL E CLASSES DE SÍTIO PARA <i>P. taeda</i> .....	84
TABELA 13 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE VALORES MÉDIOS (CAMADA 0-40 CM) DE VARIÁVEIS EDÁFICAS E RESPOSTA ADUBAÇÃO (RA) POR REGIÃO PARA O <i>P. taeda</i> .....	85
TABELA 14 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O TEOR DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS E RESPOSTA ADUBAÇÃO (RA) POR REGIÃO PARA O <i>P. taeda</i> .....	86
TABELA 15 – NÍVEIS DE RESPOSTA A ADUBAÇÃO (RA) NECESSÁRIA PARA RESULTADOS POSITIVOS DE VPL APÓS OITO ANOS DA ADUBAÇÃO REALIZADA EM <i>P. taeda</i> COM IDADE ENTRE SETE E OITO ANOS.....	87

## ESTRUTURA DA TESE

A presente tese foi estruturada em seis seções. As duas primeiras seções referem-se a “Introdução Geral” e “Revisão de Literatura” que relacionam os objetivos do trabalho e buscam evidenciar a importância do estudo e elencar na revisão referências sobre o tema abordado.

As três seções seguintes referem-se a três capítulos que foram elaborados com elementos e formatos de artigos científicos: Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusão e Referências.

No capítulo I avaliou-se o efeito de doses crescentes de adubação fosfatada em *Pinus taeda* plantados sobre Latossolos Vermelhos na região do município de Telêmaco Borba, PR

No capítulo II foram avaliados os efeitos da forma e posicionamento da adubação de plantio com fósforo em *Pinus taeda* em duas classes de solo predominantes no Planalto Sul Catarinense.

E no capítulo III foi estudado a resposta de uma adubação realizada em meia-rotação de *Pinus taeda* em plantios comerciais já estabelecidos com idades entre sete e oito anos.

E uma última seção contemplando considerações finais e recomendações.

## LISTA DE SIGLAS

%	Percentual
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
cmol <sub>c</sub>	Centimol de carga
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
CV	Coeficiente de Variação
DAP	Diâmetro a 1,30 m do solo
dc	Diâmetro do colo
dm	Decímetro
F	Fator de forma
g	Área basal
h	Altura
H <sub>2</sub> O	Água
ha	Hectare
IBA	Indústria Brasileira de Árvores
IPA	Incremento Periódico Anual
IPEF	Instituto de Pesquisas Florestais
K	Potássio
kg	Quilograma
km	Quilômetro
m	Metro
M.O.	Matéria Orgânica
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
Mg	Magnésio
mg	Miligramma
mm	Milímetro
MS	Matéria Seca
°C	Graus Celsius
P	Fósforo
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de difósforo
PPPIB	Programa Cooperativo de Produtividade Potencial do Pinus no Brasil
PR	Estado do Paraná
QM	Quadrado médio
ton	Tonelada
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1. Objetivo Geral .....	16
2.2. Objetivos Específicos .....	16
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
3.1. <i>Pinus taeda</i> L. ....	17
3.2. Aspectos sobre fertilidade do solo e produção de <i>Pinus taeda</i> L. ....	19
3.3. Manejo da adubação em <i>Pinus taeda</i> L. ....	21
 <b>CAPÍTULO I - EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM <i>Pinus taeda</i> L. EM LATOSSOLO VERMELHO NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA, PARANÁ, BRASIL....</b>	<b>28</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>28</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>29</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>
 <b>CAPÍTULO II – FORMA E POSICIONAMENTO DA ADUBAÇÃO DE PLANTIO COM FOSFÓRO EM <i>Pinus taeda</i> L.....</b>	<b>44</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>44</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>45</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
3.1. Experimento I .....	54
3.2. Experimento II .....	58
3.3. Serapilheira acumulada e fósforo no solo.....	61
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

<b>CAPÍTULO III – O EFEITO DA ADUBAÇÃO EM MEIA ROTAÇÃO DE <i>Pinus taeda</i> L. NO PLANALTO SUL CATARINENSE E NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA.....</b>	<b>69</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>69</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>70</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>71</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>74</b>
2.1. Localização e delineamento experimental .....	74
2.2. Mensuração e resposta adubação.....	75
2.3. Análises estatísticas .....	77
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>78</b>
3.1. Instalação das parcelas gêmeas .....	78
3.2. Incremento periódico em volume.....	79
3.3. Análise da resposta a adubação .....	82
3.4. Abordagem econômica da resposta a adubação.....	86
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>89</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>90</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As áreas reflorestadas com *Pinus taeda* L. constituem a mais importante fonte da base florestal para a cadeia produtiva do setor madeireiro do Sul do Brasil, abastecendo as indústrias de madeira serrada, chapas e painéis, laminação e produção de celulose e papel. Uma parte relevante do abastecimento são oriundos de reflorestamento de pequenos e médios proprietários associados à cadeia produtiva do setor.

A espécie de *P. taeda*, que adaptou-se muito bem as condições edafoclimáticas da região Sul do Brasil, tornou-se a principal opção de espécie para reflorestamento na região. A expansão da área reflorestada com *Pinus* teve início com o plano de incentivos fiscais do governo para reflorestamentos a partir da década de sessenta. Ao longo do tempo outras ações de órgãos governamentais e do setor difundiram o cultivo, mas principalmente ações das empresas do setor aumentando e mantendo a sua base de área plantada e desenvolvendo iniciativas de fomento com parceiros da região, fez com que cultivo de *Pinus* se consolidasse na cadeia produtiva, agregando valor e desenvolvimento econômico regional.

Nesse contexto de consolidação da área plantada ao longo de cinco décadas de cultivo obtiveram-se ganhos de qualidade da madeira e de produtividade através dos trabalhos de seleção e melhoramento genético da espécie e do aprimoramento das técnicas de manejo silvicultural. Os ganhos em produtividade são bem consideráveis, elevando a produtividade média de 20 a 25 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> nas primeiras rotações, para níveis atuais de 30 a 35 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (IBA, 2017). É possível encontrar plantios com altos níveis de produtividade, 45 a 50 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, usando materiais genéticos superiores e manejo com alto grau de tecnificação.

Em função da sua boa adaptação e dos níveis satisfatórios de produtividade o *P. taeda* ficou sendo considerado uma espécie rústica e de baixa exigência em manejo silvicultural pela grande maioria de seus produtores. Porém, mesmo sendo considerado pouco exigente, é possível em uma mesma região, obter diferentes respostas do crescimento de acordo com a fertilidade do solo, no seu aspecto mais amplo (REISSMANN, 2002). E uma adequação sítio-específica, manejando o reflorestamento de forma a garantir a qualidade dos fatores químicos, físicos e

biológicos do sítio é determinante para atingir e sustentar elevadas taxas de produtividade florestal (FOX, 2000).

Com a intensificação do uso do solo através do avanço no número de rotações e uso de materiais genéticos mais produtivos, o conhecimento sobre as limitações do ambiente e suas inter-relações com a espécie de interesse, neste caso o *P. taeda*, permite direcionar ações de manejo específico, de forma a potencializar os resultados esperados. A partir do conhecimento gerado faz-se necessário trabalhar indicadores buscando manter a sustentabilidade do ambiente, e consequentemente do negócio, já que no médio e longo prazo a capacidade produtiva não deverá ser reduzida.

Uma das estratégias que visa contribuir para manutenção da capacidade produtiva das áreas reflorestadas é a busca de um balanço nutricional no sistema, caracterizado pela entrada de nutrientes, disponibilidade natural do solo e possível adição via adubação mineral, e a saída de nutrientes pela exportação por ocasião da colheita dos produtos de interesse. As informações para compor todos as questões que envolve esse balanço para *P. taeda* ainda são difusas e pontuais, principalmente no que se refere as respostas consolidadas da espécie a adubação mineral em diferentes regiões.

De posse dos dados e acesso a resultados de uma rede experimental, instalada nas regiões do Planalto Sul Catarinense e de Telêmaco Borba, PR, que visava responder algumas questões relacionadas aos efeitos da adubação em plantios comerciais de *P. taeda*, o estudo e consolidação dos resultados em uma estratégia para o manejo de adubação do *P. taeda* foi o tema e objetivo deste trabalho.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

- Avaliar estratégias silviculturais de manejo de adubação para povoamentos de *Pinus taeda* nas regiões do Planalto Sul Catarinense e do município de Telêmaco Borba, PR.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar o efeito de doses crescentes de adubação fosfatada no crescimento de *Pinus taeda* sobre Latossolos Vermelhos de textura média e argilosa;
- Avaliar o efeito de forma e posicionamento da adubação fosfatada no crescimento de *Pinus taeda*;
- Quantificar os níveis de resposta de adubação em meia-rotação de plantios de *Pinus taeda* nas regiões do Planalto Sul Catarinense e de Telêmaco Borba no Paraná.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. *Pinus taeda* L.

*Pinus taeda* L. é uma espécie florestal subtropical originária dos Estados Unidos ocorrendo naturalmente em 15 estados, desde Delaware, no nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi (SHIMIZU; SEBBEN, 2008). Segundo Schultz (1997) é uma das espécies mais resistente e versátil devido à facilidade de reprodução e rápido crescimento em diferentes locais, e que em seu habitat natural cresce associado a outras espécies de *Pinus* e de folhosas. O conjunto dessas características com os diferentes usos da sua madeira lhe conferem o título de principal espécie madeireira do sudeste dos Estados Unidos.

Os primeiros estudos com exemplares de *P. taeda* no Brasil datam de 1936 através do trabalho de importação de sementes do Instituto Florestal de São Paulo. Na década dos anos 1950 aumentaram o número de áreas experimentais do mesmo Instituto com espécies de *Pinus*. Os plantios de *P. taeda* em larga escala e em diferentes locais, principalmente na região Sul do Brasil, foram difundidos a partir do plano de incentivos fiscais para reflorestamentos no início dos anos 1960 (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005). Nesse período também algumas empresas iniciaram a instalação de testes de procedências de *Pinus* buscando alternativas de substituição da fibra longa advinda da *Araucaria angustifolia* a ser utilizado como matéria prima na produção de celulose kraft (BARRICHELO et al., 1977), e de produção de madeira serrada, madeira laminada e na confecção de painéis (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

Atualmente a área plantada com *Pinus* no Brasil é de 1.584.332 hectares, e está concentrada principalmente na Região Sul do país (88,5%), devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira (IBA, 2017). O Estado do Paraná possui a maior área plantada de *Pinus* com 42,4% da área total, seguido por Santa Catarina, que possui 34,3%.

Segundo Booth et al. (2002) que apresentam um sumário de requisitos de características climáticas o *P. taeda* pode ser plantado em regiões tropicais e

subtropicais com altitudes entre 0 e 900 m, precipitação média anual entre 900 mm e 2.200 mm e estação seca de 0 a 4 meses; temperatura média anual entre 14 °C e 24 °C e temperatura média do mês mais quente entre 20 °C e 35 °C, temperatura média do mês mais frio entre -2 °C e 18 °C. É tolerante a geadas e pode suportar períodos temporários de alagamento do solo e déficit hídrico. Apresenta grande plasticidade, porém resulta em grande variação de produtividade em função das condições edafoclimáticas, assim cresce em uma grande variedade de solos, de diferentes texturas, capacidade de retenção de umidade e acidez, mas apresenta baixa produtividade em solos de baixa fertilidade.

De acordo com Higa et al. (2008), no estudo de zoneamento climático para *P. taeda*, a região Sul do Brasil praticamente não apresenta nenhuma condição restritiva ao desenvolvimento de *P. taeda*, como aquelas observadas na sua região de origem, como déficit hídrico e baixas temperaturas ao norte. Assim a espécie pode sobreviver em grande parte da região, porém pode apresentar baixas produtividades nos locais onde o clima e solo for menos favorável ao seu desenvolvimento. Define que as áreas preferenciais para o cultivo de Pinus são as de maior altitude e mais frias, que correspondem a uma parte do Terceiro Planalto e áreas de altitude do Primeiro Planalto Paranaense. Não havendo restrições de solos e com uso de sementes e práticas silviculturas adequadas a espécie pode apresentar altos níveis de produtividade na Serra Gaúcha e Planalto Catarinense.

Com a adaptação as condições edafoclimáticas da região Sul do Brasil comprovada, o aprimoramento constante das técnicas e tratamentos silviculturais, além do desenvolvimento dos trabalhos de melhoramento genético da espécie, a produtividade do *P. taeda* atinge valores de 35 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em alguns locais de solos argilosos e profundos no Planalto Catarinense, há registros de produtividades superiores a 45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Na sua região de origem a produtividade de *P. taeda* também teve uma forte evolução nos últimos 50 anos. Os índices operacionais de produtividade mais que dobraram com o uso de resultados de pesquisa e técnicas de manejo específicas para as plantações neste período, saindo de uma taxa de crescimento menor do que 7 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para uma produção de 27 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em algumas regiões (FOX et al., 2004).

A silvicultura de *P. taeda* e a industrialização da sua madeira ocupam grande destaque no cenário econômico da região Sul do Brasil. Na análise de Vasques et al. (2007) para essa região destaca que a prática da atividade de reflorestamento com o gênero *Pinus*, devidamente estruturada em técnicas, possui ciclo de longo prazo e promove o desenvolvimento social e econômico em extensão regional e tem participação extremamente importante na economia nacional, especialmente porque a amplitude da atividade promove e concilia o tripé da sustentabilidade às práticas de rotina, consolidando uma atividade economicamente viável, ambientalmente correta e socialmente justa.

### **3.2. Aspectos sobre fertilidade do solo e produção de *Pinus taeda* L.**

O crescimento das árvores é influenciado por fatores genéticos da espécie, que interagem com o meio ambiente, o qual compreende os seguintes fatores: climáticos (temperatura, precipitação, vento e insolação), edáficos (atributos físicos, químicos e biológicos), topográficos (altitude, inclinação e exposição) e competição (FINGER, 1992). De acordo com McKeand et al. (2006) a produtividade de *Pinus* no Sudeste dos Estados Unidos depende do potencial genético da espécie, da interação com o ambiente e quantidade de recursos disponíveis, principalmente água, luz e nutrientes.

O ambiente é tão importante quanto à espécie e o que deve ser considerado quando da instalação de plantios é a interação entre ambos. O desempenho de espécies florestais é fortemente influenciado pelas características dos sítios, sendo que pequenas variações entre áreas contíguas provocam grandes variações de respostas no crescimento das árvores (DAVIDE, 1994).

As condições de adaptação do *Pinus* aos solos ácidos, que constituem a grande maioria dos solos do país, permitiram a implantação de extensas áreas que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornam as espécies do gênero importantes fontes de matéria-prima, proveniente de florestas estabelecidas dentro de padrões de sustentabilidade (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

Com o avanço do uso do solo e rotações sucessivas em plantios de *P. taeda* pelo setor florestal é necessário gerar indicadores de sustentabilidade do ambiente, e consequentemente do negócio, já que no médio e longo prazo a capacidade produtiva não deve ser reduzida. Para Fox (2000) indicadores confiáveis da qualidade do solo

são necessários para avaliar a sustentabilidade do manejo florestal. Propõe que se realize essa análise em duas abordagens, uma comparando diretamente produção de biomassa em rotações sucessivas, e outra, gerar índices da qualidade do solo baseado em medidas diretas de propriedades do solo, tais como volume e profundidade de enraizamento, resistência do solo, concentração de matéria orgânica, atividade microbiana e as taxas de mineralização de nitrogênio

Segundo Abrão (2011) em áreas de plantios de *P. taeda* evidenciou-se uma redução das bases trocáveis (cálcio e magnésio) nas camadas superficiais de um Cambissolo Húmico quando comparado com o mesmo solo em áreas de campo nativo. Os menores teores de cálcio e magnésio observados nas áreas com *Pinus* em primeira e segunda rotação podem estar relacionados à lixiviação e absorção desses elementos pelo número de raízes finas, presentes nas camadas mais superficiais do solo (REISSMANN. 1983; MAFRA et al., 2008) e, assim suprem as exigências nutricionais da espécie para garantir funções fisiológicas a sua sobrevivência.

Vargas (2012) avaliando formas e disponibilidade de nutrientes em áreas de primeira e terceira rotação de *P. taeda* constata que o estoque de cálcio trocável foi drasticamente menor na área em terceira rotação,  $87,7 \text{ kg ha}^{-1}$ , em relação à primeira rotação,  $894 \text{ kg ha}^{-1}$ . A diferença entre o estoque da primeira e terceira rotação fica acima de uma exportação de nutrientes ocasionada por três rotações de *Pinus*, mesmo ao considerar uma alta taxa de exportação. No entanto, é importante ressaltar que a terceira rotação não teria cálcio suficiente para uma próxima rotação de *Pinus*, enquanto que a primeira rotação ainda teria cálcio para três ou quatro rotações. Isso evidencia que este nutriente deve ser monitorado com cuidado nos solos da região, pois a baixa disponibilidade natural deste solo (MAFRA et al., 2008) aliada ao não uso de fertilizantes ou corretivos pode ser limitante ao crescimento do *Pinus*.

Segundo Morales (2007) a quantidade de potássio, cálcio e a soma de bases tiveram relação positiva com a produtividade, evidenciando a importância dos nutrientes para o crescimento do *P. taeda* na região de Lages, Planalto de Santa Catarina. A produtividade de *P. taeda* nos sítios estudados não depende de um atributo isolado e nem de todos os atributos do solo, mas da interação entre eles.

No trabalho de unidades de manejo para *P. taeda*, Bognola (2007) destaca que as áreas de maior potencial produtivo quanto aos índices de sítio estão relacionadas principalmente com os atributos físico-hídricos dos solos. Em relação avaliação de

variáveis químicas da camada superficial do solo demonstra que houve correlação negativa da acidez trocável do solo com o índice de sítio para *P. taeda*.

Na avaliação de uma rede de parcelas de *P. taeda* ao longo dos estados de Santa Catarina e Paraná, Munhoz (2011) verificou que as maiores produtividades estão associada aos solos de maior fertilidade, destacando-se nos maiores teores de nitrogênio e fósforo do solo.

A associação do sistema radicular de *P. taeda* com micorrizas aumenta a rede de absorção de nutrientes do solo. Na revisão de Fox et al. (2011) sobre a nutrição com fósforo em florestas plantadas evidenciam a importância da associação das micorrizas com as árvores, na qual envolvem mecanismos que modificam o solo e aumentam a disponibilidade e absorção de fósforo.

### **3.3. Manejo da adubação em *Pinus taeda* L.**

Como qualquer outra espécie florestal, mesmo sendo pouco exigente em nutrientes, o *Pinus* tem necessidades nutricionais bem definidas, e que poderá apresentar, mais cedo ou mais tarde, deficiências em relação a alguns macro ou micro-elementos essenciais, que devem, conseqüentemente, serem adicionados sob a forma de adubo (POGGIANI, 1980). Além disso, espécies de rápido crescimento como o *P. taeda*, absorvem com maior intensidade os nutrientes do solo, e quando grandes quantidades de biomassa são retiradas da floresta, por ocasião dos cortes ou dos desbastes, ocorre uma exportação apreciável na quantidade de nutrientes.

Segundo Stape *et al.* (2008) a ecologia da produção florestal pode ser avaliada através do crescimento, do suprimento e das taxas de utilização (eficiência) dos recursos naturais. Assim, o manejo desses recursos envolve a adoção criteriosa de técnicas e práticas silviculturais que eliminem ou minimizem limitações ao crescimento e, conseqüentemente à produtividade florestal.

Nas plantações florestais são toleráveis determinados desbalanços nutricionais temporários, mas ao longo do ciclo silvicultural deve ser mantido um equilíbrio dinâmico entre as entradas e as saídas dos nutrientes do sítio (STAPE, 1997)

Aumentos de produtividade podem ser obtidos com a aplicação de práticas silviculturais (poda e desbaste), adição de fertilizantes e com a descompactação do solo. Restrições físicas, deficiências hídricas, compactação e impedimentos físicos do

solo são situações que reduzem a expressão dos efeitos das propriedades químicas nos solos sobre o crescimento de *P. taeda* (BELLOTE; DEDECEK, 2006).

O *P. taeda* é considerado de baixa exigência nutricional (PRITCHETT; ZWINFORD, 1961) e a ausência de sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações, propiciou a ideia que esta espécie, assim como o gênero *Pinus*, dispensaria a prática de fertilização mineral. Reissmann e Wisniewski (2005) relatam que o *Pinus* possui uma capacidade extraordinária de aproveitamento dos recursos nutricionais em sítios de baixa fertilidade, entretanto pode ocorrer diminuição do crescimento.

Em relato de diversos estudos com diferentes espécies florestais em vários países quanto à resposta a adubações, Nambiar (1984) menciona que a seleção de genótipos pode oferecer um avanço nesse sentido, e advertiu que o potencial genético para alta produção não será completamente expresso se não for acompanhado por uma otimização dos recursos de água e nutrientes. Segundo esse autor, muitos dos conhecimentos sobre nutrição são empíricos, e os avanços nessa área somente serão possíveis se houver interação nos conhecimentos sobre a fisiologia do crescimento das árvores e a relação destas com a disponibilidade de nutrientes no solo.

Durante quatro décadas de silvicultura de *P. taeda* no Brasil alguns experimentos e estudos de caso abordam o uso e resposta da espécie a adubação. Os trabalhos publicados no Brasil, concluem que o *Pinus*, de uma forma geral responde menos à adubação que o *Eucalyptus*, mas que incrementos em volume podem chegar a 20% ou mais, em solos pobres (FERREIRA et al., 2001).

Para a região de origem do *P. taeda*, principalmente Sul e Sudeste dos Estados Unidos, muitos trabalhos já foram desenvolvido e mostram aumento de produtividade com uso de adubação, tanto no estabelecimento dos plantios, como em povoamentos em meia rotação (FOX; JOKELA; ALLEN, 2007). Os resultados de Albaugh et al. (2015) mostraram que plantios jovens de *P. taeda* e *P. elliottii* responderam a fertilização. Nos locais onde a produtividade foi limitada por nitrogênio e fósforo os plantios responderam a aplicação em idades jovens, e o principal fator determinante da resposta foi a dose cumulativa total de nitrogênio variando de 300 a 400 kg ha<sup>-1</sup>, já a frequência não foi significativa.

Wells e Allen (1985) recomendam o investimento em fertilização para o manejo de *P. taeda* indicando que a adição de 23 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo promove o aumento de 3

a 4,5 metros do índice de sítio na idade de 25 anos em solos de baixa fertilidade e mal drenados na planície costeira no Sudeste dos Estados Unidos. Resultados positivos com ganhos em produtividade nos plantios com adubação de fósforo e nitrogênio são relatados por Carlson et al. (2014) de adubação em meia rotação com idade variando entre 9 e 25 anos, também na região Sudeste dos Estados Unidos.

Estudos iniciais de adubação em *Pinus*, já na década de setenta apontavam para respostas positivas em relação à adubação fosfatada durante o estabelecimento do plantio, mas não verificaram resposta a potássio e nitrogênio (MUNIZ et al., 1975; BALLONI; JACOB; SIMÕES, 1978). Estudos mais recentes como de Silva et al. (2003) sobre adubação mineral em *P. taeda* em solos arenoso no Paraná encontraram respostas positivas para potássio, magnésio e boro. Vogel et al. (2005) verificou resposta positiva em Cambissolo Húmico argilosos na região nordeste do Rio Grande Sul para a adição de 64 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 87 kg ha<sup>-1</sup> de potássio até três anos de idade. No estudo de Paim (2007) sobre dose de cálcio e potássio sobre Latossolo no Planalto Catarinense, verificou-se resposta com ganhos em produção de 15% na idade de oito anos, somente para cálcio na dose de 2,8 ton ha<sup>-1</sup>.

Já em solos argilosos na província de Misiones na Argentina, Fernandez et al. (2000), ao estudar o efeito da aplicação de doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio no estabelecimento do *P. taeda* constatou que aos 34 meses de idade, houve diferenças significativas no diâmetro, altura total e volume, com relação às dosagens de nitrogênio e fósforo, porém não encontrou resultado significativo quanto à resposta ao potássio.

Ferreira et al (2001) no trabalho de diagnóstico e prioridades de pesquisa relacionadas a nutrição de *Pinus* no Sul do Brasil destacam a necessidade de experimentação e avaliação de dosagens, métodos e época de aplicação de adubos em *P. taeda*. Destacam também a importância de determinar critérios e indicadores para avaliação de fertilidade dos solos, com ênfase em métodos de amostragem, e de análises de solo e planta, compatíveis com as exigências nutricionais das espécies florestais.

Munhoz (2011) menciona que há provável potencial de aumento da produtividade do *P. taeda* no Sul do Brasil via manejo nutricional com fertilização, porém sendo necessário ensaios experimentais específicos para este tema.



#### 4. REFERÊNCIAS

- ABRÃO, S. F. **Alterações físicas e químicas de um Cambissolo Húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações.** 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003.
- ALBAUGH, T. J.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; RUBILAR, R. A. Juvenile southern pine response to fertilization is influenced by soil drainage and texture. **Forests** 6, 2799–2819, 2015.
- BALLONI, E. A.; JACOB, W. S.; SIMÕES, J. W. Resultados parciais de experimentação desenvolvida pelo setor de implantação florestal com diferentes espécies de *Pinus*. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 18, p. 1-117, jul. 1978.
- BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. J.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. Estudo de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF** n.15, p.1-14, 1977.
- BELLOTE, A. F. J.; DEDECECK, R. A. Atributos físicos e químicos do solo e suas relações com o crescimento e a produtividade de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 21 – 38, jul./dez. 2006.
- BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes.** 96 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2005.
- BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico.** 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- BOOTH, T.H.; JOVANOVIĆ, T.; NEW, M. A new world climatic mapping program to assist species selection. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 163, p. 111- 117, 2002.
- CARLSON, C. A.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; ALBAUGH, T. J.; RUBILAR, R. A.; STAPE, J. L. Growth responses of loblolly pine in the southeast united states to midrotation applications of nitrogen, phosphorus, potassium, and micronutrients. **Forest Science**. 60 (1), 157–169, 2014.
- DAVIDE, A. C. Seleção de espécies vegetais para a recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, Foz de Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 111-122.

FERREIRA, C.; SILVA, H. D.; REISSMANN, C.; BELLOTE, A.; MARQUES, R. **Nutrição de Pinus no sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa.** Colombo: **Documentos Embrapa Florestas**, 2001. 23p.

FERNÁNDEZ, R.; RODRÍGUEZ ASPILLAGA, F.; LUPI, A.; LOPEZ, E.; PEZZUTTI, R.; CRECHI, E.; PAHR, N.; NATIUCK, M.; CORTEZ, P. Respuesta Del Pinus taeda y la Araucaria angustifolia a la adición de N, P y K en la implantación. In: **SILVOARGENTINA I**, Governador Virasoro, Comentes, 2000. 1 CD-Rom.

FINGER, C. A G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.269 p.

FOX, T. R. Sustained productivity managed forest plantations. **Forest Ecology and Management.** Amsterdam. V. 138 p. 187 – 202. 2000.

FOX, T.R.; JOKELA, E.; ALLEN, H.L. The evolution of pine plantations in the southern United States, P. 63–82 in **Southern forest science: Past, present, future.** USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. SRS-75. 394 p. 2004.

FOX, T. R.; JOKELA, E. J.; ALLEN, H. L. The development of pine plantation silviculture in the southern United States. **Journal of Forestry**, 105(7), 337-347.2007.

FOX, T. R.; MILLER, B. W.; RUBILAR, R.; STAPE, J. L.; E. J.; ALBAUGH, T. J. Phosphorus nutrition of forest plantations: the role of inorganic and organic phosphorus In: BÜNEMANN, E. K.; OBERSON, A.; FROSSARD, E. **Phosphorus in action: Biological processes in soil phosphorus cycling.** Springer, Berlin, 2011 338 p.

HIGA, R.C.V.; WREGE, M.S.; RADIN, B; BRAGA, H. V.; CAVIGLIONE, J.H.;BOGNOLA, I.; ROSOT, M.A.D.; GARRASTAZU, M.C.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA,Y.M.M. **Zoneamento climático: Pinus taeda no sul do Brasil.** Colombo: Embrapa florestas, 2008.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2017.** São Paulo. 2017.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; HERRERA PONCE, R. **A cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: SBS, 2005. 160 p.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG, O. F.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.217-224, 2008.

MCKEAND, S.; JOKELA, E.; HUBER, D.; BYRAM, T.; ALLEN, H.; LI, B.; MULLIN, T.J. Performance of improved genotypes of loblolly pine across different soils, climates, and silvicultural inputs. **Forest and Ecology Management**, Amsterdam, v. 227, p. 178–184, 2006.

MORALES, C. A. S. **Relação entre atributos do solo com a produtividade de Pinus taeda L.** 131 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2007.

MUNHOZ, J. S. B. **Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco.** 2011. 116p Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MUNIZ, P.J. da C; BALDANZI, G.; PÉLLICO NETO, S. de. Ensaio de adubação em *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* no Sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 5-13, 1975.

PAIM, R. M. **Efeito da aplicação de lama de cal e cloreto de potássio sobre as variáveis químicas e biológicas do solo, estado nutricional e crescimento do *Pinus taeda* L. sobre Latossolo em Três Barras, SC.** 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

POGGIANI, F. Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes. Piracicaba: **IPEF/Série Técnica**, v. 1, n. 2, p. D1-D11, 1980.

PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

REISSMANN, C. B. Morfologia dos horizontes de húmus em florestas de coníferas exóticas no sul do Brasil. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 5, p. 11-16. 1983.

REISSMANN, C. B. Exigências nutricionais nos plantios de pinus. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 12, n. 68, p. 34-40, dez. 2002.

REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. cap. 5, p. 135-165.

SCHULTZ, R.P. **Loblolly pine: the ecology and culture of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.).** New Orleans: USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1997. 493p.

SHIMIZU, J.Y.; SEBBEN, A.M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. ***Pinus na silvicultura brasileira***. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. P. 49 – 74.

SILVA, H.D. da; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; GOMES, F.S. Adubação mineral e seus efeitos na produção de biomassa em árvores de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, n.8. **Anais...** CD ROM. São Paulo, 2003.

STAPE, J. L. Florestas plantadas: situação de cultivo, manejo e tendências. In: **Workshop on the sustainability of the Brazilian pulp and paper industry**. São Paulo: Ministério das Relações Exteriores/BRACELPA, 1997.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 920-930, 2008.

VARGAS, C, O. **Formas de carbono e macronutrientes do solo em florestas de *Pinus* em primeira e terceira rotação no Planalto Sul**. 102 p. Tese (Doutorado em Manejo do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2012.

VASQUES, A. G.; NOGUEIRA, A.S; KIRCHNER, F. F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero para pinus para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, p. 445 – 450, 2007.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L. & WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 199-206, 2005.

WELLS, C. G.; ALLEN, L. **When and where to apply fertilizer**. General Technical. Report SE-36. Asheville, NC: USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 23 p, 1985.

## **CAPÍTULO I - EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM *Pinus taeda* L. EM LATOSSOLO VERMELHO NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA, PARANÁ, BRASIL**

### **RESUMO**

Atualmente, o *Pinus taeda* é a espécie de maior importância utilizada em reflorestamentos na região Sul do Brasil, servindo de base para a cadeia produtiva do setor madeireiro. O objetivo deste trabalho foi avaliar aos dois e aos sete anos de idade a resposta de *Pinus taeda* à adição de dose de fósforo logo após o plantio em Latossolo Vermelho de textura argilosa e média na região de Telêmaco Borba, Paraná. Foram instalados dois experimentos de campo, um no solo de textura argilosa e o outro em textura média, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, nos quais, os tratamentos consistiram em doses crescentes de fósforo (0, 50, 75 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As doses de fósforo foram aplicadas na forma de superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), em duas covetas laterais, aos 30 dias após o plantio. O teor de fósforo disponível no solo foi caracterizado como muito baixo. Aos dois e aos sete anos foram medidos o diâmetro e a altura total de 20 plantas por parcela e procedeu o cálculo de volume por área. Os resultados indicaram que o uso de adubação fosfatada promoveu ganhos significativos na produtividade de *Pinus taeda* até sete anos de idade no Latossolo Vermelho de textura média e a resposta se deu de forma linear com máxima produção para a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Para o Latossolo Vermelho de textura argilosa, não houve resposta significativa ao uso de adubação fosfatada até os sete anos de idade.

Palavras-chave: Pinus, nutrição florestal, silvicultura

## CHAPTER I - EFFECT OF PHOSPHORUS FERTILIZATION IN *Pinus taeda* L. IN RED OXISOL IN THE REGION OF TELEMACO BORBA, PARANÁ, BRASIL

### ABSTRACT

Currently, the *Pinus taeda* is the most important species used in afforestation in the Southern Region of Brazil, serving as the basis for the timber production chain. The purpose of this study was to evaluate the effect of phosphorus addition to the soil in *Pinus taeda* plantation at two and at seven years after planting in clay and sandy clay Red Oxisol in the region of Telemaco Borba, Paraná. Two field experiments were installed, one in clay soil and another in sandy clay soil, in a randomized block design with four replications, in which the treatments consisted of increasing doses of phosphorus (0, 50, 75 and 100 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). The doses of phosphorus were applied in the form of triple superphosphate (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) in two lateral slits, at 30 days after planting. The available soil phosphorus content was characterized as very low. At two and at seven years, the diameter and total height of 20 plants per plot were measured, and the volume was calculated by area. The results indicated that the use of phosphate fertilization promoted significant gains in the productivity of *Pinus taeda* up to seven years in sandy clay Red Oxisol, and the response was linear with maximum production for the dose of 100 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. For clay Red Oxisol there was no significant response to the use of phosphate fertilization until seven years of age.

Keywords: *Pinus*, forest nutrition, silviculture

## 1. INTRODUÇÃO

O *Pinus taeda* L. é uma espécie subtropical proveniente do Sul dos Estados Unidos, e ocorre naturalmente em 15 estados, abrangendo desde Delaware até a Flórida e o leste do Texas. Segundo Schultz (1997) é uma das espécies mais resistente e versátil devido à facilidade de reprodução e rápido crescimento em diferentes locais, o que a faz ser a principal espécie madeireira do sudeste dos Estados Unidos.

O plantio em larga escala no Brasil com a espécie de *P. taeda* teve início nos anos de 1960 pelos incentivos fiscais para reflorestamentos (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005). Atualmente a área plantada com *Pinus* no Brasil é de 1.584.332 hectares, e está concentrada principalmente na Região Sul do país (88,4%), devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira. O Estado do Paraná possui a maior área plantada de *Pinus* com 42,4% da área total, seguido por Santa Catarina, que possui 34,3% (IBA, 2017).

Para Booth e Jovanovic (2000) o *P. taeda* pode ser plantado em regiões tropicais e subtropicais com altitudes entre 0 e 900 m, precipitação média anual entre 900 mm e 2.200 mm e estação seca de 0 a 6 meses; temperatura média anual entre 14 °C e 24 °C e temperatura média do mês mais quente entre 20 °C e 35 °C, temperatura média do mês mais frio entre 1 °C e 18 °C. É tolerante a geadas e pode suportar períodos temporários de alagamento do solo e déficit hídrico. Embora apresente grande plasticidade, existe também grande variação de produtividade em função das condições edafoclimáticas, assim cresce em uma grande variedade de solos, de diferentes texturas, capacidade de retenção de umidade e acidez, mas apresenta baixa produtividade em solos de baixa fertilidade. De acordo com Higa *et al.* (2008), no estudo de zoneamento climático para *P. taeda*, a região Sul do Brasil praticamente não apresenta nenhuma condição restritiva ao desenvolvimento da espécie, como aquelas observadas na sua região de origem, como déficit hídrico e baixas temperaturas ao norte.

O *P. taeda* é uma espécie considerada de baixa exigência nutricional (PRITCHETT; ZWINFORD, 1961) e a ausência de sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações, propiciou a ideia que esta espécie, assim como o gênero *Pinus*, dispensaria a prática de fertilização mineral. Reissmann e

Wisniewski (2005) relatam que o pinus possui uma capacidade extraordinária de aproveitamento dos recursos nutricionais em sítios de baixa fertilidade, entretanto pode ocorrer diminuição do crescimento.

Durante quatro décadas de silvicultura de *Pinus* no Brasil alguns experimentos e estudos de caso abordam o uso e resposta da espécie a adubação. Os trabalhos publicados no Brasil, concluem que o *Pinus*, de uma forma geral responde menos à adubação que o *Eucalyptus*, mas que incrementos em volume podem chegar a 20% ou mais, em solos de baixa fertilidade (FERREIRA et al., 2001). Para a região de origem do *P. taeda*, principalmente Sul e Sudeste dos Estados Unidos, muitos trabalhos já foram desenvolvido e mostram aumento de produtividade com uso de adubação, tanto no estabelecimento dos plantios, como em povoamentos em meia rotação (FOX; JOKELA; ALLEN, 2007).

De acordo com Gonçalves (1995) a adubação se faz necessária devido ao fato que nem sempre o solo é capaz de fornecer todos os nutrientes que as plantas demandam para um adequado crescimento. Dessa forma as características e quantidades de adubo a serem utilizados dependem das necessidades nutricionais de cada espécie. O mesmo autor recomenda para *P. taeda*, em solos de baixa a média disponibilidade de fósforo no solo, dosagens que variam de 20 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Belotte e Dedeczek (2006) descrevem em seu trabalho que aumentos de produtividade em *P. taeda* podem ser obtidos com a adoção de diversas práticas silviculturais, tais como descompactação do solo, poda e desbastes, e dentre elas a fertilização.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, aos dois e sete anos de idade, a resposta de *P. taeda* a adição de dose de fósforo logo após o plantio em Latossolo Vermelho de textura argilosa e média na região de Telêmaco Borba, Paraná.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados deste trabalho refere-se a dois experimentos de campo com *Pinus taeda*, um sobre Latossolo Vermelho textura argilosa (Experimento I, 50°32'41" W; 24°14'30" S), e outro em Latossolo Vermelho textura média (Experimento II, 50°30'01" W; 24°16'50" S) implantados na fazenda Monte Alegre da empresa Klabin S.A, no município de Telêmaco Borba, Paraná.

As duas áreas experimentais apresentavam características de manejo semelhantes na rotação anterior, plantio de *P. taeda* com corte final aos 18 anos. O solo foi coletado na camada 0 – 20 cm e 20 -40 cm (Tabela 01), e analisado de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995), para duas áreas experimentais antes do início da implantação do experimento. Os teores de fósforo disponíveis (extraídos pelo método Mehlich-1) no solo (Tabela 01) são classificados como muito baixos para espécies florestais (GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2016), tanto para a área experimental instalada sobre Latossolo Vermelho textura argilosa, quanto para a área experimental instalada sobre Latossolo Vermelho textura média.

As técnicas de manejo utilizadas na implantação e condução dos dois experimentos foram as mesmas. Nas duas áreas foi realizado preparo do solo mecanizado em cultivo mínimo com subsolagem a 45 cm de profundidade e 60 cm de largura na linha de plantio. As plantas daninhas foram controladas na linha de plantio com herbicida pré-emergente, e nas entrelinhas com dessecante até o fechamento de copa.

TABELA 01 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO NAS CAMADAS 0-20 E 20-40 cm NA ÁREA EXPERIMENTAL DE LATOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA E TEXTURA MÉDIA

Atributos	Unidades	Exp. I ( <i>Latossolo textura argilosa</i> )		Exp. II ( <i>Latossolo textura média</i> )	
		Profundidade (cm)			
		0 – 20	20 - 40	0 – 20	20 - 40
Areia Grossa	(%)	4	5	16	15
Areia Fina		10	9	54	52
Silte		33	30	10	11
Argila		53	55	20	22
M.O.	(%)	3,4	2,5	1,1	0,8
pH-H <sub>2</sub> O		4,5	4,7	4,4	4,5
P	(mg dm <sup>-3</sup> )	1,7	1,1	1,1	0,7
K		31	21	15	10
Al <sup>3+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,1	2,2	2,4	2,2
Ca <sup>2+</sup>		1,5	0,4	0,1	0,1
Mg <sup>2+</sup>		0,1	0,2	0,1	0,1

FONTE: O autor (2018).

Nos dois experimentos foram utilizadas mudas de origem seminal de pomar clonal de segunda geração. As mudas foram produzidas em Telêmaco Borba, PR, no viveiro operacional da Klabin, e apresentavam seis meses de idade na ocasião do plantio. O plantio foi realizado em maio de 2007 com espaçamento de plantio de 2,5 m entre plantas e 2,5 m nas entrelinhas.

Os tratamentos de adubação foram os mesmo para os dois experimentos e consistiram em quatro doses de fósforo (0, 50, 75, 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída de uma parcela de 60 plantas (3 x 20), das quais somente as 20 plantas centrais foram utilizadas para as mensurações, mais bordadura dupla em cada unidade. As doses de fósforo foram aplicadas na forma de superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em duas covetas laterais, a 10 cm de distância da muda e 10 cm de profundidade, 30 dias após o plantio.

Aos dois anos foi mensurada a altura total e diâmetro a 50 cm do solo das plantas da parcela de mensuração. Já na idade de sete anos após o plantio foi mensurada a altura total e o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP). A partir dos dados de altura e diâmetro calculou-se o volume por hectare de cada parcela usando fator de

forma de 0,45 ( $\text{Volume} = (g.h.f)$ ), onde  $g = ((\text{DAP})^2.\pi)/4$ ;  $f$  = fator de forma; e  $h$  = altura.

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas utilizando o aplicativo “Statistical Analysis System” (SAS, 2014). Procedeu-se a análise de variância (teste F) e, teste de comparação de média de Tukey a significância de 5% para altura e DAP. Para o volume efetuaram-se análises de regressão pelo procedimento PROREG para estudo dos tratamentos em que o efeito foi significativo no teste F.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de fósforo disponíveis no solo (Tabela 01) são classificados como muito baixos para espécies florestais (GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2016), tanto para área experimental instalada sobre Latossolo Vermelho textura argilosa, como na área experimental instalada sobre Latossolo Vermelho textura média.

As doses de fósforo não apresentaram diferenças estatisticamente significativas no arranque inicial de crescimento de *P. taeda* quando observado as variáveis diâmetro e altura (Tabela 02) aos dois anos de idades. Não houve diferença entre as doses dentro de cada experimento, e entre os experimentos na mesma dose.

TABELA 02 - VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO A 1,30 M (DAP) E ALTURA (h) DE *Pinus taeda* AOS DOIS E SETE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO ( $P_2O_5$ ) EM LATOSSOLO VERMELHO DE TEXTURA ARGILOSA E MÉDIA

Doses de $P_2O_5$ (kg ha <sup>-1</sup> )	Idade (2 anos)			
	Diâmetro (cm)		h (m)	
	Textura argilosa	Textura média	Textura argilosa	Textura média
0	1,75 Aa*	1,70 Aa	3,01 Aa	2,99 Aa
50	1,80 Aa	1,80 Aa	3,08 Aa	3,15 Aa
75	1,93 Aa	1,80 Aa	3,20 Aa	3,10 Aa
100	1,88 Aa	1,86 Aa	3,19 Aa	3,19 Aa
CV (%)	7,86	9,67	5,30	6,81
	Idade (7 anos)			
	Diâmetro (cm)		h (m)	
	Textura argilosa	Textura média	Textura argilosa	Textura média
0	18,75 Aa	17,47 Aa	11,83 Aa	10,08 Ba
50	18,42 Aa	17,72 Aa	12,32 Aa	10,15 Ba
75	18,54 Aa	18,38 Aa	12,32 Aa	10,09 Ba
100	18,33 Aa	18,65 Aa	12,16 Aa	10,38 Ba
CV (%)	4,05	3,62	3,23	6,29

\* Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas linhas, e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2018).

Em valores absolutos observa-se aos dois anos uma resposta na ordem de 10,3% em diâmetro quando comparado ao tratamento sem fósforo com a dose de 75 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$  no Latossolo de textura argilosa. Para essa mesma variável no ambiente de textura média o incremento em diâmetro foi de 9,4% da dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$  quando comparado ao tratamento sem fósforo. Para a variável altura (h)

aos dois anos a resposta absoluta foi 6,3% maior comparado ao tratamento sem fósforo com a dose de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no ambiente argiloso, e de 6,7% na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em relação ao tratamento sem fósforo no ambiente de textura média.

Vogel et al. (2005) encontrou resposta positiva máxima para altura total de plantas de *P. taeda* aos 19 meses com dose de 96,8 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em Cambissolo Húmico argiloso que apresentava 1,5 mg.dm<sup>-3</sup> de fósforo disponível no solo. Resultados de ganhos no crescimento inicial de *P. taeda* foi demonstrado também por Faustino et al. (2012) estudando resposta a fertilização de quatro diferentes famílias selecionadas por ganho em volume e qualidade de fuste, onde houve ganhos significativos em altura e diâmetro do colo aos oito e dezesseis meses de idade em resposta a adição de 96 gramas planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em solo vermelho, argiloso e profundo.

Na idade de sete anos o diâmetro e altura (Tabela 02) não diferiram estatisticamente em relação as doses de fósforo, tanto na área experimental em Latossolo Vermelho de textura argilosa, bem como na de textura média. Mesmo não apresentando diferença estatística observa-se incremento de diâmetro de 6,6% quando utiliza-se a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em relação ao tratamento sem fósforo. Nesta idade foi observado diferença significativa quando comparado a variável altura entre os dois ambientes para todos os tratamentos. Com os dados de altura, mesmo que sejam dados na idade de meia rotação, pode-se inferir que existe uma clara diferença de sítio entre as áreas experimentais. Analisando as médias dos tratamentos sem fertilização, a altura média no Latossolo Vermelho de textura argilosa é 17,4 % maior que no Latossolo Vermelho de textura média aos sete anos de idade, já para o diâmetro a diferença é 7,4% maior, respectivamente.

Rigatto, Dedeczek e Mattos (2005) estudando a relação de produtividade de *P. taeda* e atributos químicos e físico de diferentes classes concluíram que os solos de texturas argilosa propiciaram maior produtividade quando analisados aos doze anos de idade. Ainda destaca a correlação positiva entre pH, K e Ca + Mg com a produtividade, atributos estes que no presente estudo apresentam-se em níveis maiores na área experimental de textura argilosa.

Para o volume das parcelas, onde se integra as variáveis diâmetro e altura, a análise de variância (Tabela 03) indica que o ajuste de modelo de regressão das doses

crescentes de  $P_2O_5$  não foi significativo para o Latossolo Vermelho de textura argilosa, tanto na idade de dois anos como na idade de sete anos. Já para o Latossolo Vermelho de textura média o modelo teve significância de ( $P < 0,05$ ) aos dois anos e ( $P < 0,10$ ) aos sete anos de idade.

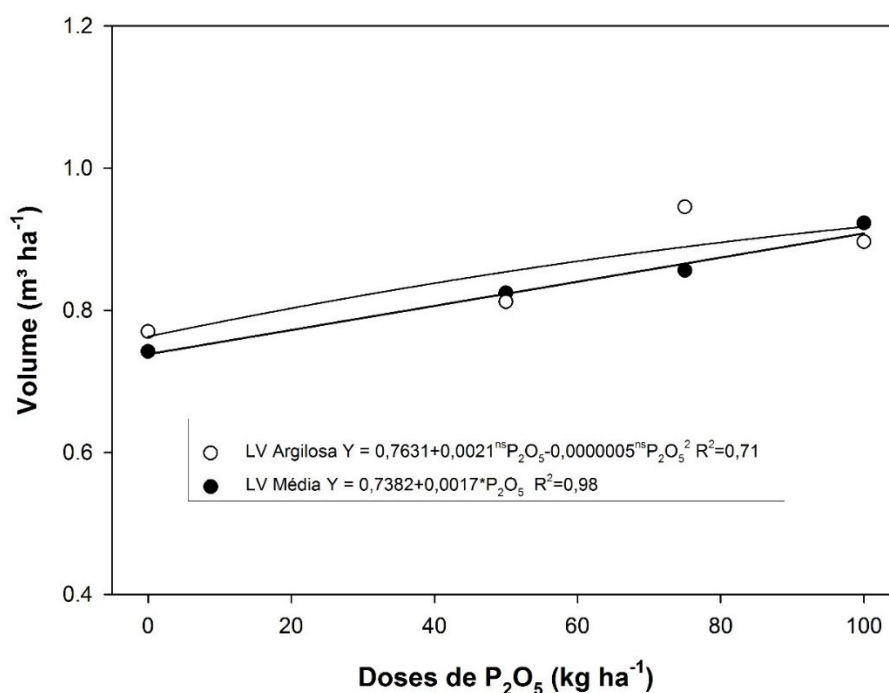
TABELA 03 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM VALORES DE QUADRADO MÉDIO (QM) DE VOLUME TOTAL DE *Pinus taeda* AOS DOIS E SETE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO ( $P_2O_5$ ) EM LATOSSOLO VERMELHO DE TEXTURA ARGILOSA E MÉDIA

Experimento	QM	
	Fonte de Variação (Doses de $P_2O_5$ )	
	Idade (2 anos)	Idade (7 anos)
Textura argilosa	0,07 <sup>ns</sup>	25,50 <sup>ns</sup>
Textura média	0,02*	610,44**

ns - não significativo; \*significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*significativo ( $P < 0,10$ )  
 FONTE: O autor (2018).

O volume de *P. taeda* apresentou comportamento linear (Figura 01) com o aumento das doses de  $P_2O_5$  adicionadas ao solo aos dois anos de idade para o Latossolo Vermelho de textura média. O volume inicial atingido com a dosagem de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  foi 24,4% maior do que o volume no tratamento sem fósforo. Já no Latossolo Vermelho de textura argilosa a maior média de volume foi para a dosagem de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Em solos argilosos na província de Misiones na Argentina, Fernandez et al. (2000) estudou o efeito da aplicação de doses crescentes fósforo, além de potássio e nitrogênio, e constatou diferenças significativas no diâmetro, altura total e volume de *P. taeda* aos 34 meses, com máxima resposta relacionado a adição de  $62 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Similar ao trabalho anterior Vogel et al. (2005) encontraram máxima resposta em volume cilíndrico de *P. taeda* em Cambissolo Húmico de textura argilosa na dose  $64 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  quando avaliado aos dezenove meses de idade.

FIGURA 01 - RESPOSTA EM VOLUME PARA *Pinus taeda* AOS DOIS ANOS DE IDADE, EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO AO SOLO, EM LATASSOLO VERMELHO DE TEXTURA ARGILOSA E MÉDIA

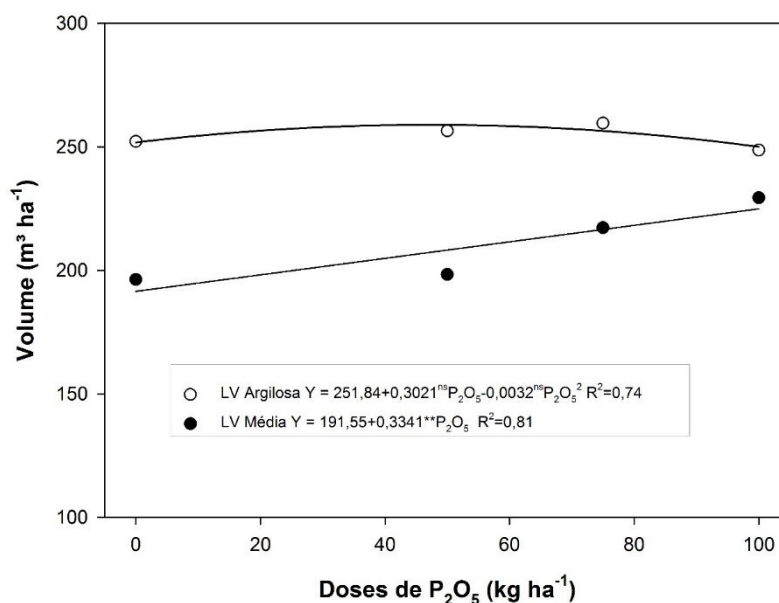


FONTE: O autor (2018).

Os resultados em volume aos sete anos após o uso da adubação com doses crescentes de fósforo apontam diferenças entre os ambientes, experimento em textura argilosa e textura média, e no comportamento da curva de resposta. Nessa idade está praticamente caracterizado metade do ciclo de rotação, planejado para esses plantios com idade de quinze anos.

Aos sete anos manteve-se o mesmo comportamento de resposta linear bem definida da adição de doses crescentes de fósforo no Latossolo Vermelho de textura média (Figura 02). Neste ambiente o uso da dose  $100\ kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  promoveu ganho em volume de 17,4% maior que o tratamento sem fertilização, correspondendo a uma diferença de  $33,4\ m^3\ ha^{-1}$ .

FIGURA 02 - RESPOSTA EM VOLUME PARA *Pinus taeda* AOS SETE ANOS DE IDADE, EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO AO SOLO, EM LATASSOLO VERMELHO DE TEXTURA ARGILOSA E MÉDIA



FONTE: O autor (2018).

O resultado em volume aos sete anos no Latossolo de textura argilosa apresentou comportamento quadrático em relação as doses de fósforo, porém não teve efeito significativo. Em valores absolutos o volume médio maior nesse ambiente foi para a dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, correspondendo a um ganho de pequena magnitude, 2,9% em relação ao tratamento sem fósforo.

Analisando os resultados em volume aos sete anos fica clara a diferença de produtividade entre os ambientes, tomando-se como referência os tratamentos sem adição de fósforo, a produção em volume no Latossolo Vermelho de textura argilosa foi 31,5% maior em relação ao Latossolo Vermelho de textura média, diferença que corresponde a 60,3 m³ ha<sup>-1</sup>. Comparando a máxima produção em função das doses, de 258,9 m³ ha<sup>-1</sup> na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o a textura argilosa, e de 211,7 m³.ha<sup>-1</sup> na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para a textura média, o uso da adubação reduz para 15,1% a diferença de produção entre os ambientes. A diferença na capacidade produtiva pode estar influenciada não só pela textura e níveis de fósforo no solo, mas pelo níveis de outro atributos como os indicados por Dedeczek et al. (2008) onde as maiores produtividades de *P. taeda* foram encontradas em solos que apresentaram maiores teores de potássio, fósforo, pH, saturação de base e menor saturação de alumínio.



Como as rotações de *P. taeda* são de longo prazo se faz necessário uma avaliação econômica com idade mais próxima do corte final para definição dos níveis efetivos de resposta e dosagens econômica ótima com o uso da adubação fosfatada.

#### 4. CONCLUSÕES

O uso de adubação fosfatada promoveu ganhos significativos na produtividade de *P. taeda* até sete anos de idade plantados em Latossolo Vermelho de textura média na região de Telêmaco Borba, Paraná. A resposta se deu de forma linear com máxima produção para a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> adicionados logo após o plantio.

Para o Latossolo Vermelho de textura argilosa não houve resposta significativa ao uso de adubação fosfatada até os sete anos de idade.

## 5. REFERÊNCIAS

- BELLOTE, A. F. J.; DEDECECK, R. A. Atributos físicos e químicos do solo e suas relações com o crescimento e a produtividade de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 21 – 38, jul./dez. 2006.
- BOOTH T. H.; JOVANOVIĆ, T. Improving descriptions of climatic requirements in the CABI Forestry Compendium. **A report for the Australian Centre for International Agricultural Research**. CSIRO - Forestry and Forest Products, Client Report n°. 758. 2000.
- DEDECEK, R. A.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R.; LIMA, L. C. DE S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.
- FAUSTINO, L. I.; BULFE, N.; PINAZO, M.; GRACIANO, C. Crecimiento de cuatro familias de *Pinus taeda* en respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo en el establecimiento de la plantación. **Revista Faculdade Agronomica**. Vol 111 (2): 54-63.201, 2012.
- FERREIRA, C. et al. Nutrição de Pinus no sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa. Colombo: **Documentos Embrapa Florestas**, 2001. 23p.
- FERNÁNDEZ, R. et al. Respuesta Del *Pinus taeda* y la *Araucaria angustifolia* a la adición de N, P y K en la implantación. In: **SILVOARGENTINA I**, Governador Virasoro, Comentes, 2000. 1 CD-Rom.
- FOX, T. R., JOKELA, E. J., ALLEN, H. L. The development of pine plantation silviculture in the southern United States. **Journal of Forestry**, 105(7), 337-347. 2007.
- GATIBONI, L. C.; SILVA, L. S.; ANGHINONI, I. Diagnóstico da fertilidade do solo e recomendação da adubação. In: Leandro Souza da Silva; Luciano Colpo Gatiboni. (Org.). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11ed. Frederico Westphalen: SBCE-NRS, 2016, v. 1, p. 89-99.
- GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. **Documentos Florestais**, v.15, p. 1-23. 1995.
- HIGA, R.C.V.; WREGE, M.S.; RADIN, B; BRAGA, H. V.; CAVIGLIONE, J.H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M.A.D.; GARRASTAZU, M.C.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Zoneamento climático: *Pinus taeda* no sul do Brasil**. Colombo: Embrapa florestas, 2008.
- IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2017**. São Paulo. 2017.
- KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: SBS, 2005. 160 p.

PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. cap. 5, p. 135-165.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

SAS. 2016 **SAS Interprise Guide 7.12 for Windows Microsoft**. SAS Institute Inc., Cary, USA, 2016.

SCHULTZ, R.P. **Loblolly pine**: the ecology and culture of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.). New Orleans: USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1997. 493p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. p. 174.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L. & WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 199-206,2005.

## CAPÍTULO II – FORMA E POSICIONAMENTO DA ADUBAÇÃO DE PLANTIO COM FÓSFORO EM *Pinus taeda* L.

### RESUMO

O fósforo é um nutriente imprescindível ao crescimento vegetal e apresenta uma complexa relação no sistema solo-planta. Nas plantações florestais, que em geral estão sobre solos de baixa fertilidade, a deficiência de fósforo pode limitar a produtividade florestal. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da forma e posicionamento da adubação de plantio com fósforo em *P. taeda* na região do Planalto Sul Catarinense. Foram instalados dois experimentos de campo, um sobre Cambissolo Háplico argiloso e o outro, em Nitossolo Vermelho muito argiloso, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, nos quais cada experimento recebeu os mesmos procedimentos, que consistiram em um tratamento controle sem adubação; outros três tratamentos com distância de posicionamento da adubação fosfatada de 10, 20 e 30 cm respectivamente em relação à muda, sendo a dose de adubo por planta dividida em duas covetas laterais diametricamente opostas; e por fim, um quinto tratamento com a dose de fósforo aplicada em forma de círculo com um raio de 30 cm em relação à muda sobre a superfície do solo. A dosagem de fósforo foi a mesma a todos os tratamentos correspondendo a 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, realizada 30 dias após o plantio. A altura total e diâmetro de 40 plantas por parcelas foram mensuradas no Experimento I aos 1, 4, 8 e 12,5 anos e no Experimento II aos 1,5, 4, 8 e 11,5 anos, procedendo-se cálculo de volume por hectare de cada parcela. Os resultados indicam efeitos significativos da adubação fosfatada no arranque inicial de *P. taeda* até os quatro anos de idade. A adubação de plantio com 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> promoveu ganho médio em volume de 23,8% quando comparado ao tratamento sem adubação sobre Cambissolo Háplico. Já para o Nitossolo Vermelho, aos 11,5 anos, não houve diferenças estatisticamente significativas. Em relação à forma e ao posicionamento da adubação fosfatada de plantio, não houve diferença significativa entre os tratamentos para o *P. taeda* aos 12,5 anos de idade, no experimento sobre Cambissolo Háplico.

Palavras-chave: *Pinus*, nutrição florestal, fósforo

## CHAPTER II – FORM AND POSITIONING OF PLANTING FERTILIZATION WITH PHOSPHORUS IN *Pinus taeda* L.

### ABSTRACT

The Phosphorus is an essential nutrient to the plant growth and it presents a complex relationship in the soil-plant system. In forest plantations, which are usually on low fertility soils, the phosphorus deficiency may limit forest productivity. The objective of this work was to evaluate the effect of the form and of the positioning of the planting fertilization with phosphorus in *P. taeda* in the region of the Southern Plateau Catarinense. Two field experiments were installed, one on clay Inceptsol, and another on very clayey Red Nitosol, in a randomized block design with four replications, where each experiment received the same treatments, which consisted of a control treatment without fertilization; three treatments with phosphorus fertilization distances of 10, 20 and 30 cm, respectively, relative to the molt, with the dose of fertilizer per plant divided into two diametrically opposite lateral slits; and finally, a fifth treatment with the dose of phosphorus applied in the form of a circle with a radius of 30 cm in relation to the seedling on the soil surface. The phosphorus rates was the same for all treatments, corresponding to 75 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, performed 30 days after planting. The total height and diameter of 40 plants per plot were measured in Experiment I at 1, 4, 8 and 12.5 years and in Experiment II at 1.5, 4, 8 and 11.5 years, with a volume calculation per hectare of each plot. The results indicate significant effects of phosphorus fertilization on the initial start of *P. taeda* up to four years of age. Planting fertilization with 75 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> promoted an average gain in volume of 23.8% when compared to the treatments without fertilization on Inceptsol. As for the Red Nitosol, at 11.5 years, there were no statistically significant differences. Regarding the form and the positioning of the phosphate fertilization, there was no significant difference between treatments for *P. taeda* at 12.5 years of age, in the experiment on Cambisol Haplic.

Keywords: Pine, forest nutrition, phosphorus

## 1. INTRODUÇÃO

*Pinus taeda* L. é uma espécie florestal subtropical originária dos Estados Unidos ocorrendo naturalmente em 15 estados, desde Delaware, no nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi (SHIMIZU; SEBBEN, 2008). Segundo Schultz (1997) é uma das espécies mais resistente e versátil devido à facilidade de reprodução e rápido crescimento em diferentes locais, e que em seu habitat natural cresce associado a outras espécies de pinus e de folhosas. O conjunto dessas características com os diferentes usos da sua madeira lhe conferem o título de principal espécie madeireira do sudeste dos Estados Unidos.

Na região Sul do Brasil os plantios de *P. taeda* foram difundidos a partir do plano de incentivos fiscais para reflorestamentos no início dos anos 1960 (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005). Atualmente a área plantada com Pinus no Brasil é de 1.584.332 hectares, e está concentrada principalmente na Região Sul do país (88,5%), devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira (IBA, 2017). No Estado de Santa Catarina a área plantada é de 546.426 hectares, grande parte concentrada na região do Planalto Catarinense, onde predominam Cambissolos e Nitossolos argilosos de baixa disponibilidade natural de fósforo no solo. A silvicultura de *P. taeda* e a industrialização da sua madeira ocupa grande destaque no cenário econômico da região Sul do Brasil (VASQUES et al., 2007).

Ao longo de 50 anos de silvicultura de *P. taeda* obtiveram-se ganhos consideráveis de produtividade com trabalhos de seleção e melhoramento genético e adequação de tratos e técnicas de implantação dos reflorestamentos. Em relação ao manejo nutricional e adubação, particularmente na região Sul do Brasil, os resultados são incipientes. O cenário de sua boa adaptação às condições edafoclimáticas e bons níveis de produtividade, além de ser considerada de baixa exigência nutricional (PRITCHETT; ZWINFORD, 1961), e de não apresentar sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações, difundiu-se o conceito de que o manejo de *P. taeda* dispensaria a prática de adubação. Trabalhos pontuais de resposta a adubação foram desenvolvidos, na década de setenta resultados apontaram para respostas

positivas em relação à adubação fosfatada durante o estabelecimento do plantio, mas não verificaram resposta a potássio e nitrogênio (MUNIZ et al., 1975; BALLONI; JACOB; SIMÕES, 1978). Em estudo mais recente Vogel et al. (2005) verificaram resposta positiva em Cambissolo Húmico argilosos na região nordeste do Rio Grande Sul para a adição de 64 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo até três anos de idade. Para solos argilosos na província de Misiones na Argentina, Fernandez et al. (2000) também constataram resposta significativa a adubação fosfatada. No Sudeste de Estados Unidos, região de origem do *P. taeda*, o uso de fertilização com fósforo trata-se de uma prática adotada para aumentar a produtividade da espécie, principalmente em solos de baixa fertilidade (FOX, 2000; FOX; JOKELA; ALLEN, 2007; AUBAUGH et al., 2015; WELLS; ALLEN, 1985).

O fósforo é um nutriente essencial ao crescimento e à reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional (MARSCHNER, 1995). É um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais. É também componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas. Sintomas característicos de deficiência de fósforo incluem crescimento reduzido em plantas jovens, folhas levemente arroxeadas, podendo ainda encontrar-se malformadas e conter manchas necróticas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O nutriente fósforo apresenta uma complexa relação no sistema solo-planta. O solo poderá ser naturalmente fonte desse nutriente quando fértil, ou tornar-se fonte por adição de fertilizantes. Também caracteriza-se como dreno competindo com as plantas pelo fósforo adicionado como fertilizante (NOVAIS et al., 2007). A formação de precipitados de fosfatos de ferro e de alumínio, em solos muito ácidos, também contribui para diminuição da disponibilidade de fósforo para as plantas (ERNANI et al., 2000).

A maioria expressiva das plantações florestais estão sobre solos de baixa fertilidade, e conseqüentemente a deficiência de fósforo, sozinha ou combinada com outros elementos limitam a produtividade florestal (FOX et al., 2011; BARROS; NEVES; NOVAIS, 2000). A identificação da necessidade de fertilização com fósforo em plantios florestais pode ser baseada no material de origem, tipo de solo, e através de análise de solo e tecido foliar (COMERFORD; BARROS, 2005).



De acordo com Gonçalves (1995) a adubação se faz necessária devido ao fato que nem sempre o solo é capaz de fornecer todos os nutrientes que as plantas demandam para um adequado crescimento. Dessa forma as características e quantidades de adubo a serem utilizadas dependem das necessidades nutricionais de cada espécie. O mesmo autor recomenda para *P. taeda* em solos de baixa a média disponibilidade de fósforo no solo, dosagens que variam de 20 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Como o fósforo sofre influência de vários fatores para estar prontamente disponível para as plantas, a estratégia de aplicação e localização das dosagens recomendadas é de suma importância. Este tema em culturas agrícolas frequentemente é objeto de pesquisa. Martins et al. (2005) no estudo de localização de adubos fosfatados em milho verificou que a localização de superfosfato triplo em menor volume de solo proporcionou incrementos significativos na produção de matéria seca e no conteúdo absorvido de fósforo, quando comparado a mistura do fertilizante em todo o volume de solo testado. Sousa, Lobato e Rein (2002) afirmam que para culturas anuais a aplicação de fertilizantes fosfatados a lanço e incorporados ao solo promove um sistema radicular mais volumoso, mas que essa forma deve ser utilizada para doses bem superiores a 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em solos com baixa disponibilidade de fósforo, devendo ser a aplicação feita, em menores doses, no sulco de semeadura.

Em Cambissolo Húmico do Planalto Catarinense para o cultivo de eucalipto, Stahl (2009) encontrou reposta positiva e ganhos de produção aos dezoito meses com adubação fosfatada localizada em covetas laterais distante 15 cm das mudas logo após o plantio. A máxima produção foi obtida com a adição de 54 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo ao solo. De acordo com Jokela et al. (1991) em geral a adubação com fósforo em *P. taeda* no Sudeste do Estados Unidos, durante o estabelecimento do plantio é realizada em faixa sobre a superfície na linha de plantio das mudas, ou incorporada no sulco ou camalhões que são realizados durante a atividade de preparo de solo antes do plantio.

Fator importante a ser considerado é a capacidade de associação que algumas espécies florestais possuem com micorrizas, em especial o *P. taeda*. As associações prevalecem nos horizontes orgânico e mineral do solo, melhorando a aquisição e a capacidade de absorção de fosfatos da solução do solo (PLASSARD; DELL, 2010).

Diante da importância do manejo de adubação fosfatada para os plantios florestais em geral, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da forma e

posicionamento da adubação de plantios com fósforo em *P. taeda* na região do Planalto Sul Catarinense.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados deste trabalho referem-se a dois experimentos de campo com *P. taeda* implantados em áreas da empresa Klabin S.A na unidade florestal de Santa Catarina.

O Experimento I está localizado (50°05'10" W; 27°22'29" S) no município de Otacílio Costa sobre Cambissolo Háplico Alumínico típico de textura argilosa com altitude de 893 m. Já o Experimento II localiza-se (50°40'19" W; 28°03'39" S) no município de Capão Alto sobre Nitossolo Vermelho Distroférico típico muito argiloso apresentando altitude de 991 m. As duas áreas experimentais distanciam-se entre si em 96 km em linha reta.

O uso anterior das duas áreas foram distintos, na área do Experimento I atualmente é a terceira rotação com *P. taeda*, perfazendo um total de 44 anos do uso de solo com reflorestamento. Já a área do Experimento II encontra-se em primeira rotação de *P. taeda*, a qual o uso anterior era pastagem de campo nativo da região. O solo foi coletado na camada 0 – 20 cm e 20 – 40 cm, e analisado de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995) para as duas áreas experimentais (Tabela 04), antes do início da implantação do experimento.

As técnicas de manejo utilizadas na implantação e condução dos dois experimentos foram as mesmas. Nas duas áreas foi realizado preparo do solo mecanizado em cultivo mínimo com subsolagem a 45 cm de profundidade e 60 cm de largura na linha de plantio. As plantas daninhas foram controladas com herbicida dissecante, e eventualmente roçada mecânica quando necessário, até o fechamento da copa.

TABELA 04 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO NAS CAMADAS 0-20 E 20-40 cm NO EXPERIMENTO I E EXPERIMENTO II

Atributo	Unidade	Experimento I		Experimento II	
		Profundidade (cm)			
		0 – 20	20 - 40	0 – 20	20 – 40
Areia Grossa	(%)	1	1	7	5
Areia Fina		13	14	3	4
Silte		40	34	25	20
Argila		46	51	65	71
M.O.	(%)	2,7	2,3	3,3	3,1
pH-H <sub>2</sub> O	-	4,0	4,1	5,0	4,7
P	(mg dm <sup>-3</sup> )	1,6	1,4	1,9	2,0
K		55	22	82	43
Al <sup>3+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	11,1	10,5	5,8	6,5
Ca <sup>2+</sup>		0,5	0,5	0,9	0,5
Mg <sup>2+</sup>		0,2	0,2	0,7	0,3

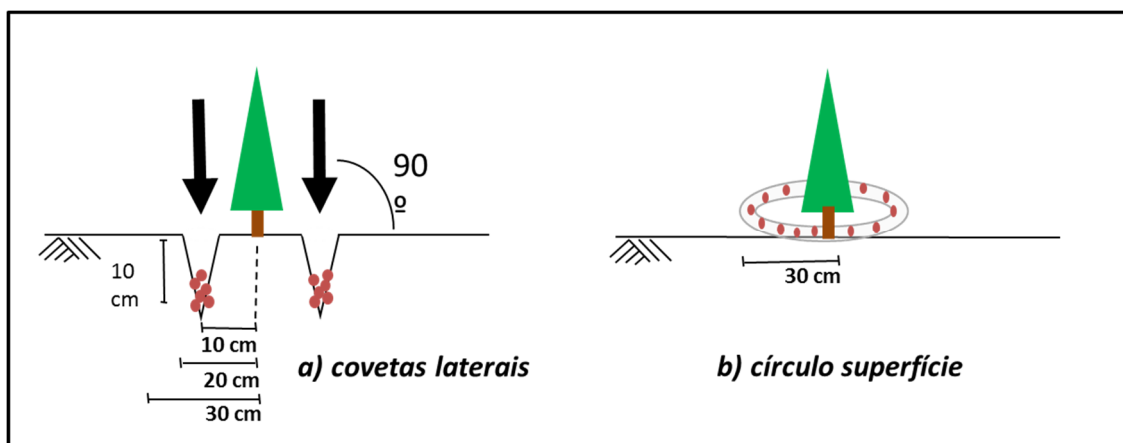
FONTE: O autor (2018).

Nos dois experimentos foram utilizadas mudas de origem seminal de pomar clonal de segunda geração. As mudas foram produzidas em Telêmaco Borba, PR, no viveiro operacional da Klabin, e apresentavam seis meses de idade na ocasião do plantio. O plantio do Experimento I foi realizado em setembro de 2004 com espaçamento de plantio de 2,5 m entre plantas e 2,5 m nas entrelinhas. O Experimento II foi plantado em outubro de 2005 com espaçamento de plantio de 2,5 m entre plantas e 3,0 m nas entrelinhas.

Os tratamentos foram iguais nas duas áreas experimentais e consistiram em cinco tratamentos. Um tratamento controle sem adubação; outros três tratamentos com distância de posicionamento da adubação fosfatada de 10, 20 e 30 cm respectivamente, em relação a muda, sendo a dose de adubo por planta dividida em duas covetas laterais diametricamente oposta; e por fim um quinto tratamento com a dose de fósforo aplicada em forma de círculo com um raio de 30 cm em relação a muda sobre a superfície do solo (Figura 03). A dosagem de fósforo foi a mesma para

todos os tratamentos com adubação e aplicada na forma de superfosfato triplo (46%  $P_2O_5$ ), correspondendo a  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , realizada 30 dias após o plantio.

FIGURA 03 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DA FORMA E POSICIONAMENTO DOS TRATAMENTOS COM ADUBAÇÃO FOSFATADA



FONTE: O autor (2018).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída de uma parcela de 88 plantas (4 x 22), das quais somente as 40 plantas centrais foram utilizadas para as mensurações, perfazendo bordadura dupla em cada unidade.

As parcelas foram mensuradas no Experimento I aos 1, 4, 8 e 12,5 anos e no Experimento II aos 1,5, 4, 8 e 11,5 anos. As variáveis medidas foram altura total, diâmetro do colo por ocasião da primeira medição e diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) nas demais medições. A partir dos dados de altura e diâmetro calculou-se o volume por hectare de cada parcela usando fator de forma de 0,45 ( $\text{Volume} = (g.h.f)$ ), onde  $g = ((\text{DAP})^2 \cdot \pi) / 4$ ;  $f$  = fator de forma; e  $h$  = altura total.

Foi realizada uma campanha de coleta de amostras de solo e serapilheira acumulada nas parcelas do Experimento I e Experimento II aos 11,5 e 12,5 anos, respectivamente. A amostragem de solo consistiu em dez amostras simples para compor uma amostra composta por parcela coletada em duas camadas com profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. Para a serapilheira quatro amostras simples com gabarito de área de  $0,09 \text{ m}^2$  (30 x 30 cm) coletadas de forma sistemática em um eixo diagonal na extensão da parcela, compuseram uma amostra para cada parcela.

As amostras de solo e serapilheira foram analisadas de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995).

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas utilizando o aplicativo Sisvar 5.6 (FERREIRA,2011). Procedeu-se a análise de variância (teste F) e, teste de comparação de média de Scott-Knott a significância de 5% para as variáveis analisadas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Experimento I

Na avaliação aos 12 meses de idade, período caracterizado como de arranque inicial de plantio, o diâmetro do colo, altura e volume foram influenciados pelos tratamentos de forma e posicionamento do fósforo, apresentando diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos e a testemunha sem adubação (Tabela 05).

TABELA 05 - VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO DO COLO A 50 CM (Dc), ALTURA TOTAL (h) E VOLUME DE *P. taeda* COM DOZE MESES DE IDADE SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

Tratamento	Dc (cm)	h (m)	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
Coveta_10 cm	2,48 a*	0,84 a	0,27 a
Coveta_20 cm	2,28 a	0,75 b	0,21 b
Coveta_30 cm	2,02 b	0,64 c	0,14 c
Superfície	2,29 a	0,76 b	0,21 b
Controle	1,74 c	0,61 c	0,10 c
CV (%)	5,89	7,40	17,40
Pr > F	0,0001	0,0003	0,0001

\* Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2018).

As maiores respostas para diâmetro, altura e volume foram obtidas com o tratamento onde o fósforo foi localizado em covetas a 10 cm das plantas. O crescimento em volume deste tratamento foi de 1,7 vezes maior quando comparado ao tratamento sem adubação. Já os tratamentos com distância de 20 cm da planta e aplicação em superfície foram iguais estatisticamente entre si. O tratamento onde o fósforo estava localizado em coveta de forma mais distante, a 30 cm das plantas, o resultado em volume foi estatisticamente igual, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, ao tratamento sem adubação. Porém de forma absoluta o posicionamento a 30 cm apresentou um ganho em volume nesta avaliação de 40% em relação ao tratamento sem adubo.

Destaca-se que a resposta média em volume da adubação dos diferentes tratamentos onde foi aplicado o fósforo foi 108% maior quando comparado a testemunha sem fósforo. O teor de fósforo disponível no solo durante a implantação do experimento (Tabela 04) sobre o Cambissolo argiloso é classificado como muito baixo para espécies florestais (GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2016). Para esta condição de baixa disponibilidade e de solo argiloso a dose utilizada de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> promoveu ganhos significativos na produção inicial do *P. taeda*. Para um Cambissolo com característica semelhante a este estudo, Vogel et al. (2005) obtiveram resposta positiva em *P. taeda* na fase inicial de crescimento com a adição de 64 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de forma localizada na cova de plantio.

De maneira geral os resultados para o experimento I na fase inicial de crescimento demonstram um gradiente de maior resposta para as menores distâncias de posicionamento da coveta onde estava concentrado o adubo. Considerando ser a difusão o principal processo de transporte de fósforo para as raízes, a disponibilidade do nutriente a maiores distância estaria influenciando o crescimento inicial das plantas. Porém a elevação da concentração de fósforo no solo aumenta sua mobilidade por difusão em direção as raízes, resultando no aumento de sua absorção pelas plantas. Com isso a absorção de fósforo fica menos dependente da existência de um amplo sistema radicular (ERNANI, 2008). Como existe uma forte relação do volume da parte aérea com o volume de raízes, o sistema radicular para as plantas jovens de *P. taeda* na idade de 12 meses estaria em plena expansão.

Lani et al (1995) constataram que o posicionamento da adubação com fósforo influenciou o crescimento de mudas de eucalipto em avaliação realizada aos 90 dias concluindo que em menores doses o fósforo deve ser aplicado de modo localizado favorecendo a absorção do nutriente.

O efeito da resposta a adubação em volume aos 12 meses, resultam em plantas com maior vigor e biomassa verde, favorecendo os tratos silviculturais e diminuindo a competição das plantas daninhas com o *P. taeda*. Já as plantas do tratamento sem adubação possuem porte inferior, as quais estão submetidas a uma pressão de competição bem maior com as plantas daninhas pelos recursos de crescimento.

A avaliação aos quatro anos de idade manteve uma tendência de desenvolvimento similar a fase inicial, com o volume médio sendo influenciado pelos tratamentos apresentando diferenças significativas entre os tratamentos de adubação,



e em relação a testemunha sem adubo (Tabela 06). A média da resposta em volume aos quatro anos das diferentes formas da adubação com fósforo foi 47% maior quando comparado ao tratamento testemunha sem fósforo.

TABELA 06 - VOLUME MÉDIO DE *P. taeda* COM 4, 8 E 12,5 ANOS DE IDADE SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

Tratamento	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
	4 anos	8 anos	12,5 anos
Coveta_10 cm	33,87 a*	312,00 a	555,88 a
Coveta_20 cm	31,05 b	303,10 a	560,62 a
Coveta_30 cm	28,59 c	283,90 a	545,77 a
Superfície	32,89 a	290,75 a	540,67 a
Controle	21,46 c	234,33 b	444,73 b
CV (%)	7,18	5,89	7,37
Pr > F	0,0001	0,0002	0,0067

\* Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

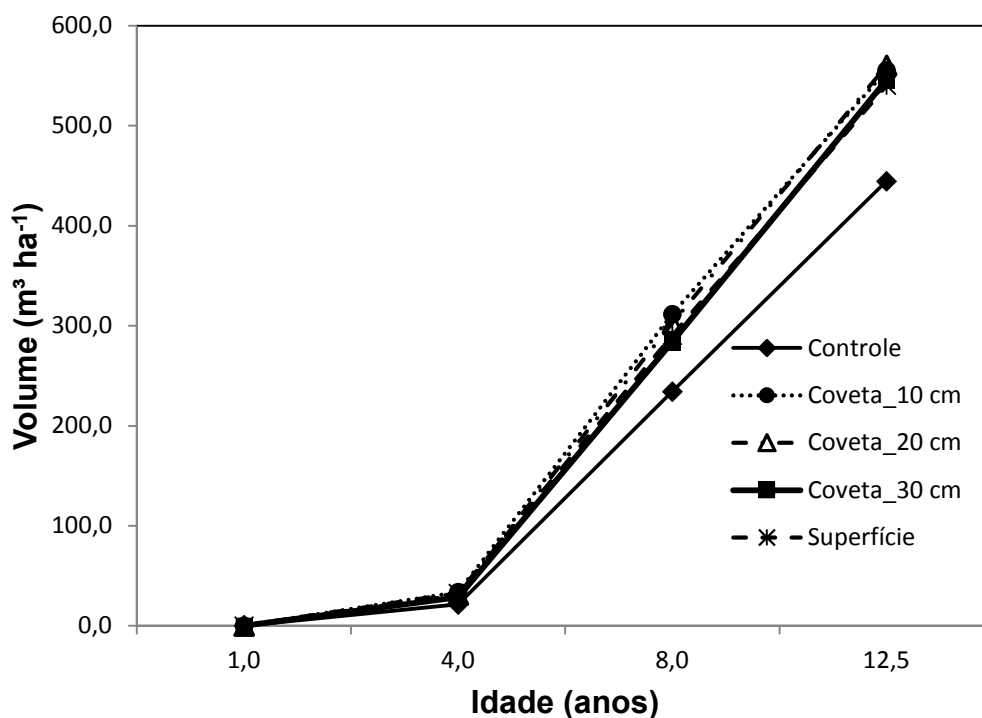
FONTE: O autor (2018).

Na avaliação de oito e 12,5 anos, caracterizando como metade do período final do ciclo de produção planejado para 16 anos, os resultados das diferentes formas e posicionamento do fósforo foram estatisticamente iguais entre si (Tabela 06). Somente a testemunha nestas duas idades diferiu estaticamente dos demais tratamentos. Em valores absolutos as maiores respostas para volume foram obtidas com o tratamento onde o fósforo foi localizado em covetas a 10 cm das plantas com média 312,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> na idade de oito anos, e no tratamento a 20 cm das plantas com média 560,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> na idade de 12,5 anos.

Com os resultados da última avaliação fica caracterizado o ganho em produtividade no *P. taeda* com a adubação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> logo após o plantio, podendo a aplicação ser localizada em covetas de até 30 cm das plantas ou em círculo de raio de 30 cm das plantas sobre a superfície para um Cambissolo argiloso com teores de fósforo disponível muito baixo. Na planície Litorânea do Sudeste dos Estados Unidos, Schultz (1997) comenta que uma simples aplicação de 93 a 196 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, geralmente é adequada para um bom crescimento de *P. taeda*.

O ganho em produtividade com o uso de fósforo na área do Experimento I foi destacado desde o início do ciclo, permanecendo até a última avaliação (Figura 04).

FIGURA 04 - CRESCIMENTO EM VOLUME DE *P. taeda* SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO



FONTE: O autor (2018).

As médias da resposta em volume das diferentes formas da adubação com fósforo quando comparado ao tratamento testemunha sem fósforo apresentou uma tendência de redução ao longo do período das avaliações, já que aos quatro anos o ganho era de 47% e aos 12,5 foi de 24%. Reissmann e Wisniewski (2005) relatam que o *Pinus* possui uma capacidade extraordinária de aproveitamento dos recursos nutricionais em sítios de baixa fertilidade, como é o caso deste estudo, entretanto pode ocorrer diminuição do crescimento o que foi corroborada quando observamos os resultados da testemunha sem fósforo. A diferença absoluta do volume médio dos tratamentos com fósforo comparado ao tratamento sem adubo foi de 106,0 m³ ha⁻¹ aos 12,5 anos, evidenciando a limitação da produtividade pelo não uso deste nutriente.

Haywood e Burton (1990) relatam ganho de produtividade em *P. taeda* aos 12 anos de idade com a adubação de 168 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados antes do plantio em

diferentes locais no Sudeste dos Estados Unidos. O uso da adubação apresentou interação com o tipo de preparo de solo utilizado e com a classe de textura do solo dos locais avaliados.

### 3.2. Experimento II

Na avaliação aos 18 meses de idade para o Experimento II sobre Nitossolo Vermelho as variáveis diâmetro do colo, altura e volume foram influenciados pelos tratamentos de forma e posicionamento do fósforo, apresentando diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos e a testemunha sem adubação (Tabela 07).

TABELA 07 - VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO DO COLO A 50 cm (Dc), ALTURA TOTAL (h) E VOLUME DE *P. taeda* COM DEZOITO MESES DE IDADE SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

Tratamento	Dc (cm)	h (m)	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
Coveta_10 cm	3,54 a*	1,21 a	0,91 a
Coveta_20 cm	3,18 b	1,11 b	0,67 b
Coveta_30 cm	3,18 b	1,08 b	0,65 b
Superfície	3,46 a	1,17 a	0,83 a
Controle	2,97 c	0,94 c	0,50 c
CV (%)	2,95	2,85	7,08
Pr>F	0,0001	0,0001	0,0001

\* Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2018).

As maiores respostas para diâmetro, altura e volume foram obtidas com o tratamento onde o fósforo foi localizado em covetas a 10 cm das plantas e em círculo sobre a superfície. O crescimento médio em volume destes dois tratamento foi 74% maior quando comparado ao tratamento sem adubação. Já os tratamentos com distância de 20 cm e 30 cm da planta foram iguais estatisticamente entre si. O tratamento sem adubação diferiu estatisticamente dos demais pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A resposta média em volume da adubação dos diferentes tratamentos com aplicação de fósforo foi 53% maior quando comparado a testemunha sem fósforo. O teor de fósforo disponível no solo durante a implantação do experimento (Tabela 04) sobre o Nitossolo Vermelho argiloso é classificado como baixo para espécies florestais (GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2016). Para esta condição de baixa disponibilidade e de solo muito argiloso a dose utilizada de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> promoveu ganhos significativos na produção inicial do *P. taeda* até os dezoito meses de idade. Para solos muito argiloso na Província de Corrientes na Argentina, Ibañez et al. (2004) demonstraram ganhos em produtividade com adubação de 79 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de forma localizada logo após o plantio em *P. taeda* em áreas de primeiro e segundo cultivo. A avaliação com um e dois anos apontaram para ganhos de 35,6 e 16,5%, respectivamente, quando comparado a parcela não fertilizada. Os autores destacam a diminuição da magnitude da resposta de um para dois anos, sendo necessária a avaliação ao longo do ciclo de cultivo nesses ambiente do estudo.

Na avaliação aos quatro anos de idade o volume médio foi influenciado pelos tratamentos, porém sem diferenças estatisticamente significativas entre as formas e posicionamento. Somente a testemunha diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 08).

TABELA 08 - VOLUME MÉDIO DE *P. taeda* COM 4, 8 E 11,5 ANOS DE IDADE SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

Tratamento	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
	4 anos	8 anos	11,5 anos
Coveta_10 cm	48,63 a	363,73 <sup>ns</sup>	635,77 <sup>ns</sup>
Coveta_20 cm	46,21 a	347,70	633,47
Coveta_30 cm	47,20 a	335,32	620,73
Superfície	51,31 a	355,44	649,32
Controle	40,55 b	319,27	595,67
CV (%)	7,55	6,28	9,21
Pr > F	0,01	0,08	0,29

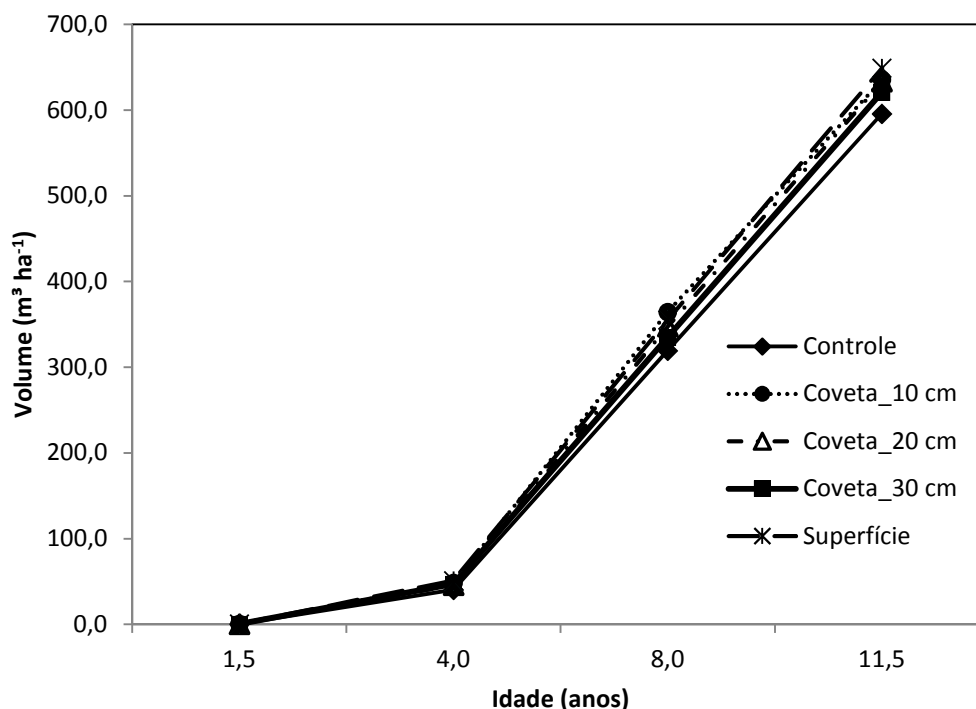
\* Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

FONTE: O autor (2018).

A média da resposta em volume aos quatro anos das diferentes formas da adubação com fósforo foi 19 % maior quando comparado ao tratamento testemunha sem fósforo. De acordo com Simonete et al. (2005) no estudo de fósforo aplicado de forma localizada por ocasião do plantio em *P. taeda* em um solo classificado como Nitossolo Bruno de baixa disponibilidade de fósforo, aos cinco anos de idade, a dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não diferiu estatisticamente de 100 kg ha<sup>-1</sup>, apresentando uma produtividade 17,8% superior ao tratamento sem fósforo.

Nas avaliações de oito e 11,5 anos de idade os tratamentos não apresentaram diferenças estatisticamente significativa entre si, inclusive quando comparados com o tratamento sem adubação com fósforo. Em valores absolutos médios das respostas em volume com a utilização da adubação observa-se uma tendência de queda do ganho relativo quando comparado com a média do tratamento sem adubação, já que o percentual de resposta média aos 11,5 anos foi de 6,7%. Gent et al. (1986) estudando o efeito de fósforo no estabelecimento de *P. taeda* em 18 locais na planície costeira baixa do Sudeste dos Estados Unidos constataram que a resposta variou substancialmente com o tipo de solo, e que em solos argilosos muito mal drenados não houve resposta a fertilização. Já no estudo de Adams, Pennell e Campbell. (1989) avaliando parcelas de *P. taeda* adubadas com 122 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> durante o plantio e sem adubação em plantios na Carolina do Norte, Estados Unidos, verificaram aos 11 anos de idade que a adubação aumentou a produção de biomassa da parte aérea em 137%, porém não houve diferença significativa na biomassa de raízes finas. Já a relação da quantidade de raízes finas sobre a biomassa aérea foi 1,41 vezes maior nas parcelas sem adubação, indicando que o efeito da fertilização fosfatada não foi de curta duração.

FIGURA 05 - CRESCIMENTO EM VOLUME DE *P. taeda* SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO



FONTE: O autor (2018).

O comportamento da reposta dos diferentes tratamentos (Figura 05) no ciclo de crescimento até os 11,5 anos mantiveram-se homogêneos, não variando ao longo dos anos, com o tratamento sem adubação apresentando resultado médio inferior aos demais tratamentos.

### 3.3. Serapilheira acumulada e fósforo no solo

A quantidade de matéria seca, assim como os teores e o fósforo acumulado na serapilheira do *P. taeda*, no experimento I aos 12,5 anos sobre o Cambissolo Háplico, e no experimento II aos 11,5 anos sobre o Nitossolo Vermelho, não foram influenciados pela forma e posicionamento da adubação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 09). O tratamento sem adubação também não diferiu dos tratamentos adubados.

TABELA 09 - MATÉRIA SECA (MS), TEOR DE FÓSFORO (P%) E FÓSFORO ACUMULADO (P) NA SERAPILHEIRA EM *P. taeda* COM 12,5 ANOS DE IDADE SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO E COM 11,5 ANOS SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

Tratamento	MS (ton ha <sup>-1</sup> )	P (%)	P (kg ha <sup>-1</sup> )
Experimento I			
Coveta_10 cm	20,37 <sup>ns</sup>	0,080 <sup>ns</sup>	16,46 <sup>ns</sup>
Coveta_20 cm	18,89	0,081	15,39
Coveta_30 cm	17,52	0,081	14,26
Superfície	17,94	0,083	15,07
Controle	20,01	0,080	16,34
CV (%)	18,95	4,56	19,11
Pr>F	0,74	0,62	0,82
Experimento II			
Coveta_10 cm	13,7 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	12,9 <sup>ns</sup>
Coveta_20 cm	13,41	0,091	14,36
Coveta_30 cm	11,72	0,092	11,20
Superfície	13,53	0,093	13,06
Controle	12,85	0,091	12,21
CV (%)	12,59	4,44	14,49
Pr>F	0,45	0,87	0,60

<sup>ns</sup> Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

FONTE: O autor (2018).

Em solos de baixa fertilidade na região de Jaguariaíva, PR, Adam (2015) também não observou diferenças no volume de serapilheira acumulada em *P. taeda* com 11 anos de idade, entre tratamentos com adubação e tratamento controle sem adubação. No estudo de Moro (2017) avaliando adubações em diferente idades em povoamento já estabelecido de *P. taeda* sobre Cambissolo Háplico, com doses de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N, 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, não influenciou na quantidade de deposição de serapilheira e nem no aporte de nutrientes desta.

Observando o acúmulo de serapilheira entre as duas áreas experimentais, mesmo que tenhamos um ano de deposição a mais, o Experimento I sobre Cambissolo apresenta 18,9 ton ha<sup>-1</sup> de serapilheira, já o acúmulo médio na área experimental II sobre o Nitossolo Vermelho foi de 13,0 ton ha<sup>-1</sup>. Esta fato estaria influenciado pela características do sítio, já que a produtividade média na área do experimento II é superior, existindo uma relação inversa com o acúmulo da serapilheira e a qualidade do sítio (REISSMANN, 1983; TREVISAN et al, 1987).

Os teores médios de fósforo disponíveis no solo não diferiram estatisticamente entre os tratamentos testado nas duas áreas experimentais (Tabela 10).

TABELA 10 - TEORES MÉDIOS DE FÓSFORO (MEHLICH 1) NAS CAMADAS 0 - 20 E 20 - 40 cm EM PLANTIO DE *P. taeda* COM 12,5 ANOS SOBRE CAMBISSOLO HÁPLICO E COM 11,5 ANOS SOBRE NITOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA FORMA E POSICIONAMENTO DE ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

Tratamento	Experimento I		Experimento II	
	P_0-20 cm	P_20-40 cm	P_0-20 cm	P_20-40 cm
	----- (mg dm <sup>-3</sup> ) -----			
Coveta_10 cm	2,87 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	1,85 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>
Coveta_20 cm	2,33	1,50	1,57	0,93
Coveta_30 cm	2,18	1,53	2,00	1,35
Superfície	2,63	1,60	1,68	1,13
Controle	2,48	1,73	1,33	1,25
CV (%)	21,50	18,13	22,06	30,83
Pr>F	0,42	0,62	0,16	0,54

<sup>ns</sup> Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

FONTE: O autor (2018).

Mesmo com a adição de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e após mais de 10 anos de ciclagem nas duas área experimentais os níveis de fósforo disponíveis extraídos por Mehlich-1 continuam classificados como baixos. Nesta condição reafirma-se a capacidade do *P. taeda* acessar formas de fósforo no solo que não estariam sendo diagnosticadas pela análise de solo, além de se valer da eficiente associação com fungos micorrizos para aquisição de nutrientes.



#### 4. CONCLUSÕES

A adubação fosfatada tem efeitos significativos no arranque inicial de *P. taeda* até os quatro anos de idade.

Para o Nitossolo Vermelho o efeito significativo da adubação de plantio com 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi constatado somente até 4 anos.

A adubação de plantio com 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> promoveu ganho médio em volume de 23,8% quando comparado ao tratamento sem adubação sobre Cambissolo Háplico. Para o Nitossolo Vermelho, aos 11,5 anos, não houve diferença estatisticamente significativa.

A forma e o posicionamento da adubação de plantio com de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre Cambissolo Háplico em *Pinus taeda*, não apresentaram diferença significativa aos 12,5 anos de idade.

## 5. REFERÊNCIAS

- ADAM, W. M. **Composição química da serapilheira e raízes finas de *Pinus taeda* sob fertilização e calagem**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Estado do Paraná, Curitiba, 2015.
- ADAMS, M. B.; PENNELL, D.; CAMPBELL, R. G. Fine root distribution in a young loblolly pine (*Pinus taeda* L.) stand: effects of preplant phosphorus fertilization. **Plant and Soil**. 113, 275–278, 1989.
- ALBAUGH, T. J.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; RUBILAR, R. A. Juvenile southern pine response to fertilization is influenced by soil drainage and texture. **Forests** 6, 2799–2819, 2015.
- BALLONI, E. A.; JACOB, W. S.; SIMÕES, J. W. Resultados parciais de experimentação desenvolvida pelo setor de implantação florestal com diferentes espécies de *Pinus*. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 18, p. 1-117, jul. 1978.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-165.
- COMERFORD, N. B.; BARROS, N. F. Phosphorus nutrition of forest trees. In: Sims TJ, Sharpley AN (eds) **Phosphorus: agriculture and the environment**. Agronomy monograph 46. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp 541–558, 2005.
- ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L.; CAMILLO, R.J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.537-544, 2000.
- ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 230 p. 2008.
- FEREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FOX, T. R. Sustained productivity managed forest plantations. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam. V. 138 p. 187 – 202. 2000.
- FOX, T. R.; JOKELA, E. J.; ALLEN, H. L. The development of pine plantation silviculture in the southern United States. **Journal of Forestry**, 105(7), 337-347.2007.
- FOX, T. R.; MILLER, B. W.; RUBILAR, R.; STAPE, J. L.; E. J.; ALBAUGH, T. J. Phosphorus nutrition of forest plantations: the role of inorganic and organic phosphorus In: BÜNEMANN, E. K.; OBERSON, A.; FROSSARD, E. **Phosphorus in action: Biological processes in soil phosphorus cycling**. Springer, Berlin, 2011 338 p.

GATIBONI, L. C.; SILVA, L. S.; ANGHINONI, I. Diagnóstico da fertilidade do solo e recomendação da adubação. In: Leandro Souza da Silva; Luciano Colpo Gatiboni. (Org.). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11ed. Frederico Westphalen: SBCS-NRS, 2016, v. 1, p. 89-99.

GENT, J. A.; ALLEN, H. L.; CAMPBELL, R.G.; WELLS, C.G. Magnitude, duration, and economic analysis of loblolly pine growth response following bedding and phosphorus fertilization. **Southern. Journal. Appleid. Forestry** 10:124 –128, 1986.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, n.15, p.1-23, 1995.

HAYWOOD, J. D.; BURTON, J. D. Phosphorus fertilizer, soils, and site preparation influence loblolly pine productivity. **New Forests**, 3, 275 – 287, 1990.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2017**. São Paulo. 2017.

IBAÑEZ, C.; NUÑEZ, P.; PEZZUTTI, R.; RODRIGUEZ, F. Efectos de la roturación del suelo y fertilización com fósforo em el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus taeda*, em suelos rojos del Nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. **Bosque** 25 (2), 69 – 76, 2004.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: SBS, 2005. 160 p.

LANI, J. L.; CÁRDENAS, A. C.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Efeito de doses e localização de fosforo sobre o crescimento de eucalipto. **Revista Ceres**. v. 42, 497-506, 1995.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic, 1995. 887 p.

MARTINS, A. G.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. P. Efeito da localização de adubos fosfatados sobre o crescimento de plantas de milho. **Revista Ceres**. v. 52, 939-961, 2005.

MORO, L. **Produtividade, ciclagem de nutrientes e índices do sistema DRIS em plantios de pinus submetidos à adubação NPK em três idades**. 92 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

PLASSARD, C.; DELL, B. Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. **Tree Physiology**. v. 30, p. 1129-1139, 2010.

PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

REISSMANN C. B., Morfologia dos horizontes de húmus m florestas de coníferas exóticas no sul do Brasil. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**. 5: 11-16, 1983.

REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. cap. 5, p. 135-165.

SCHULTZ, R. P. **Loblolly pine: the ecology and culture of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. New Orleans: USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1997. 493p.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBEN, A. M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. P. 49 – 74.

SIMONETE, M. A.; MORO, L.; CHAVES, D. M. & TEIXEIRA, C. F. A. Efeito da adubação de plantio em *Pinus taeda* L. aos cinco anos de idade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, Uberlândia, 2011. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. p.147-168.

STAHL, J. **Resposta inicial de *Eucalyptus* spp. a adubação fosfatada e potássica no Planalto Sul Catarinense**. 62 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009. 719 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. p. 174.

TREVISAN, E.; REISSMANN, C. B.; KOEHLER, J. M.; LIMA, J. C., Morfologia dos horizontes orgânicos acumulados sob povoamento de *Pinus taeda* L, em três sítios distintos. **Revista do Setor de Ciências Agrárias** v. 9, 59-62, 1987.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L. & WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 199-206,2005.

VASQUES, A. G.; NOGUEIRA, A.S; KIRCHNER, F. F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero para pinus para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, p. 445 – 450, 2007.

WELLS, C. G.; ALLEN, L. **When and where to apply fertilizer.** General Technical Report SE-36. Asheville, NC: USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 23 p, 1985.

### **CAPÍTULO III – O EFEITO DA ADUBAÇÃO EM MEIA ROTAÇÃO DE *Pinus taeda* L. NO PLANALTO SUL CATARINENSE E NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA**

#### **RESUMO**

O volume de informações disponíveis sobre a resposta de *Pinus taeda* à adubação para a região Sul do Brasil ainda são pontuais, havendo a necessidade de se aumentar a rede experimental sobre esse tema. Diante desse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de adubação no esquema de parcelas pares em idade de meia rotação em plantios de *P. taeda* no Planalto Sul Catarinense e na região de Telêmaco Borba. Foram instalados um total de 18 blocos, com duas parcelas cada, em povoamentos de *P. taeda* com idade entre sete e oito anos, sendo nove em cada região. O conjunto de blocos perfaz um total de 36 parcelas, sendo metade delas mantidas como testemunhas (Parcelas A) e a outra metade recebeu um regime de adubação aos seis meses, após a instalação (Parcelas B). O tratamento de adubação consistiu na aplicação de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia; 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples; 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio; 620 kg ha<sup>-1</sup> de CaO e 420 kg ha<sup>-1</sup> de MgO com calcário dolomítico e micronutrientes a partir de 200 kg ha<sup>-1</sup> de FTEBr12. A adubação foi aplicada a lanço em área total na parcela. As parcelas de 96 plantas foram medidas durante a instalação e bianualmente por um período de oito anos. A resposta a adubação foi calculada a partir dos dados de incremento periódico anual (*IPA*) em volume das parcelas. O esquema de parcelas pares foi eficaz para determinar os diferentes níveis de resposta ao tratamento de adubação em povoamentos já estabelecidos com idades de meia rotação. O *IPA* compreendido entre os anos de 2008 à 2016 das parcelas testemunhas e adubadas não apresentou diferenças estatisticamente significativas, com o tratamento adubado apresentando um *IPA* médio de 57,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, 2,8% maior em relação ao *IPA* da testemunha que foi de 56,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A resposta à adubação média de todos os blocos foi de 3,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, variando de -9,9 a 27,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para resultado econômico positivo da adubação em meia rotação, é necessário um nível de resposta de 2,8 e 3,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para Telêmaco Borba e região do Planalto Sul Catarinense, respectivamente, em um período de oito anos.

Palavras-chave: adubação, meia-rotação, pinus

### CHAPTER III - THE EFFECT OF FERTILIZATION IN THE MID-ROTATION AGES OF *PINUS TAEDA* L. IN THE SOUTHERN PLATEAU CATARINENSE AND IN THE TELEMACO BORBA REGION

#### ABSTRACT

The volume of information available on the response of *Pinus taeda* to fertilization for the southern region of Brazil is still punctual and there is a need to increase the experimental network on this subject. In this context, the objective of this work was to evaluate the effect of fertilization on the scheme of matched plots in the middle ages of *P. taeda* plantations in the Southern Plateau Catarinense and in the Telemaco Borba region. A total of 18 blocks were installed, with two plots each, in settlements of *P. taeda* aged between seven and eight years, nine in each region. The set of blocks totaled 36 plots, half of which were kept as witnesses (Plots A), and another half received a fertilization regime six months after installation (Plots B). The treatment of fertilization consisted of the application of 135 kg ha<sup>-1</sup> of N, in the form of urea; 80 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in the form of single superphosphate; 150 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O in the form of potassium chloride; 620 kg ha<sup>-1</sup> of CaO and 420 kg ha<sup>-1</sup> of MgO with dolomitic limestone, and micronutrients from 200 kg ha<sup>-1</sup> of FTEBr12. The fertilization was applied to haul in total area in the plot. The plots of 96 plants were measured during the installation and biannually for a period of eight years. The response to fertilization was calculated from the annual periodic increment (IPA) data of the plots. The paired plot scheme was effective in determining the different levels of fertilizer treatment response in already established settlements with half rotation ages. The IPA between the years 2008 and 2016 of the control and fertilized plots did not show statistically significant differences with the fertilized treatment, presenting an average IPA of 57.8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 2.8% higher in relation to the IPA of the control that was 56.2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The response to the average fertilization of all the blocks was 3.5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, ranging from -9.9 to 27.6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. For a positive economic result of fertilization in half rotation, a response level of 2.8 and 3.3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> is required for Telemaco Borba and the region of the Southern Plateau Catarinense, respectively over a period of eight years.

Keywords: fertilization, mid-rotation, pinus

## 1. INTRODUÇÃO

*Pinus taeda* L. é uma espécie florestal subtropical originária dos Estados Unidos ocorrendo naturalmente em 15 estados, desde Delaware, no nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi (SHIMIZU; SEBBEN, 2008).

Na região Sul do Brasil os plantios de *P. taeda* foram difundidos a partir do plano de incentivos fiscais para reflorestamentos no início dos anos 1960 (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005). Atualmente a área plantada com Pinus no Brasil é de 1.534.332 hectares, e está concentrada principalmente na Região Sul do país (88,5%), devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira (IBA, 2017). O Estado do Paraná possui a maior área plantada de Pinus com 42,6% da área total, seguido por Santa Catarina, que possui 34,5% (IBA, 2017).

Ao longo de 50 anos de silvicultura de *P. taeda* obtiveram-se ganhos consideráveis de produtividade com trabalhos de seleção e melhoramento genético e adequação de tratos e técnicas de implantação dos reflorestamentos. Em relação ao manejo nutricional e adubação, particularmente na região Sul do Brasil, os resultados são incipientes. O cenário de sua boa adaptação as condições edafoclimáticas e bons níveis de produtividade, além de ser considerada de baixa exigência nutricional (PRITCHETT; ZWINFORD, 1961), e de não apresentar sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações, difundiu-se o conceito de que o manejo de *P. taeda* dispensaria a prática de adubação.

No Sudeste de Estados Unidos, região de origem do *P. taeda*, o uso de fertilização, tanto no estabelecimento, como principalmente em meia rotação associada ao desbaste, tratam-se de práticas adotadas para aumentar a produtividade da espécie, principalmente em solos de baixa fertilidade (FOX, 2000; FOX; JOKELA; ALLEN, 2007; AUBAUGH et al., 2015; WELLS; ALLEN, 1985; JOKELA; MARTIN, VOGEL, 2010). Nesta região a resposta é maximizada quando do uso de adubação com fósforo e nitrogênio em idades intermediárias no período de fechamento das copas, período onde o potencial de uso desses nutrientes pelas árvores através da adubação é maior do que o suprimento desses nutrientes somente pelas formas



disponíveis no solo (FOX; JOKELA; ALLEN, 2007). Nesta condição as respostas são maiores quando se faz o uso combinado de fósforo e nitrogênio, quando comparado ao uso sozinho de um desses nutrientes. De acordo com Rubilar et al. (2008) também é necessário balancear a o uso de fósforo e nitrogênio para plantios de *P. radiata* em solos de baixa fertilidade no Chile.

No estudo de Munhoz (2015) avaliando o efeito da adubação em *P. taeda* com idades entre seis e sete anos na região Sul do Brasil, verificou que cinco anos após adubação, o efeito positivo foi observado na metade das parcelas que sofreram desbaste, sendo que a resposta estava correlacionada com os sítios de menor fertilidade, com baixos teores de matéria orgânica e clima mais úmido.

O sucesso das práticas de manejo intensivo para povoamentos de *P. taeda* em idades de meia rotação, dentre as práticas o uso de adubação, requer um entendimento de três coisas básicas: a limitação dos recursos que afetam a produtividade; o efeito das diferentes práticas de manejo sobre a disponibilidade dos recursos que a afetam a produtividade; e as consequências da disponibilidade dos recursos limitantes sobre a produtividade e qualidade da madeira (ALLEN et al., 2005).

A prática da adubação resulta em ganhos de produtividade florestal, principalmente em solos de baixa fertilidade, mas também desempenha a função de manter a sustentabilidade do sistema florestal, já que este, por sua vez, possui grande quantidade de nutrientes exportados periodicamente (SIXEL, 2012), mesmo que a colheita seja considerada de ciclo médio e longo prazo. Outra questão importante é que quando consideramos uma adubação na metade do ciclo de rotação, o desembolso para este investimento será capitalizado em um menor período, de que quando comparado a uma adubação realizada durante ou no primeiro ano de plantio.

O estudo da resposta a adubação ou outras práticas de manejo, em plantios florestais já estabelecidos, podem ser instalados em delineamentos tradicionais de experimentação a campo, como um experimento de diferentes tratamentos em blocos casualizados. No caso de o estudo abordar somente um tratamento com um nível em relação a uma testemunha, pode ser utilizada também a metodologia de parcelas pareadas ou parcelas gêmeas (STAPE et al., 2006). A metodologia de parcelas gêmeas é um bloco experimental constituído de um par de parcelas, localizada próxima uma da outra, onde uma das parcelas recebe o tratamento a ser avaliado, como por exemplo adubação, desbaste, controle a plantas daninhas, e a outra parcela

permanece como testemunha. Em geral pode-se utilizar a rede de inventário que já possui uma parcela fixa, e instalar ao lado em uma distância de 15 a 30 m a parcela gêmea com o tratamento desejado. É necessário que as parcelas apresentem similaridade em densidade de plantas e volume no momento da instalação. A amostragem dessa metodologia não fornece resultados ao nível de talhão, porém fornece muitas repetições da população estudada para uma boa estimativa de resultados na escala regional, abrangendo a variabilidade que existe dentro da população e não dentro de um sítio específico (STAPE et al. 2006; FERREIRA, 2007; SILVA, 2011).

Buscando analisar alternativas de manejo de adubação, para espécies florestais de interesse comercial da região Sul do Brasil, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de adubação no esquema de parcelas pares em idade de meia rotação em plantios de *P. taeda* no Planalto Sul Catarinense e na região de Telêmaco Borba, PR.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

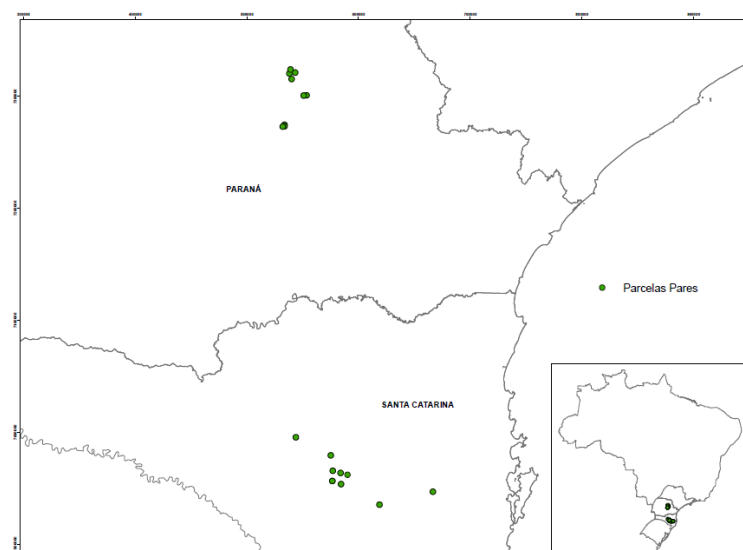
### 2.1. Localização e delineamento experimental

O conjunto de dados deste estudo refere-se a uma rede de parcelas experimentais instaladas em plantios de *P. taeda* nas unidades florestais da empresa Klabin S.A nos estados de Santa Catarina e Paraná. Esta rede de parcelas da Klabin faz parte do programa cooperativo de Produtividade Potencial do Pinus no Brasil – PPPIB, vinculado ao Instituto de Pesquisas Florestais – IPEF.

O delineamento experimental utilizado foi o de Parcelas Gêmeas (STAPE et al., 2006), o qual consiste em um bloco experimental constituído por um par de parcelas localizadas próximas uma da outra, em uma distância de 15 a 30 m, que apresentem número de indivíduos e volume similares durante a instalação. Neste esquema uma das parcelas permanece como testemunha e a outra recebe o tratamento a ser estudado.

Neste estudo foram instalados um total de 18 blocos, com duas parcelas cada, em povoamentos de *P. taeda* com idades entre sete e oito anos, sendo nove na região do Planalto Sul Catarinense, e mais nove na região do município de Telêmaco Borba-PR (Figura 06). A localização das parcelas foi definida a partir da classificação de sítio adotada pela empresa, em classe de alto, médio e baixo índice de sítio.

FIGURA 06 - LOCALIZAÇÃO DOS BLOCOS DE PARCELAS GÊMEAS



FONTE: O autor (2018).

O conjunto de blocos perfaz um total de 36 parcelas, sendo metade delas mantidas como testemunhas (Parcelas A), e outra metade recebeu um regime de adubação aos seis meses após a instalação (Parcelas B). O tratamento de adubação consistiu na aplicação de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia; 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples; 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio; 620 kg ha<sup>-1</sup> de CaO e 420 kg ha<sup>-1</sup> de MgO com calcário dolomítico, e micronutrientes a partir de 200 kg ha<sup>-1</sup> de FTEBr12. A adubação foi aplicada a lanço em área total na parcela.

A área das parcelas variou de 500 a 800 m<sup>2</sup>, e cada parcela foi composta por um total de 196 plantas (12 linhas x 16 plantas), sendo a parcela mensurável de 96 plantas (8 linhas x 12 plantas).

Amostras de solo foram coletadas em duas camadas com profundidades de 0-20 e 20-40 cm, consistindo em dez amostras simples para compor uma amostra composta por parcela durante a instalação das parcelas. Também foram coletas amostras de tecido foliar de três árvores médias por parcela, sendo a amostra composta por acículas desenvolvidas na última estação de crescimento, de ramos de quatro quadrantes no terço médio da copa. As amostras de solo e acículas foram analisadas de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995).

## 2.2. Mensuração e resposta adubação

O inventário da área mensurável das parcelas foi realizado durante a instalação e bianualmente de 2008 a 2016, onde foram medidos o diâmetro a altura de 1,30 m (DAP) de todas as árvores, a altura das árvores das três primeiras linhas e de oito árvores dominantes da parcela. As demais alturas foram estimadas a partir de função desenvolvida com banco de dados da empresa (Equação 1)

$$\ln H = b_0 + b_1 \ln h_{dom} + b_2 \ln(d_g/DAP) + b_3(1/DAP) + b_4(1/DAP) \quad (1)$$

Onde:

$H$ : altura total

$h_{dom}$ : altura dominante

$d_g$ : diâmetro da árvore de área basal média

$DAP$ : diâmetro a altura 1,30 m

$I$ : idade

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ : coeficientes da função da empresa.

O volume individual por árvore também foi calculado utilizando função do banco de dados da empresa (Equação 2) para definição do volume por parcela.

$$\ln V_{ind} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln (H_{est}) \quad (2)$$

Onde:

$V_{ind}$ : volume individual

$DAP$ : diâmetro a altura 1,30 m

$H_{est}$ : altura total estimada

$b_0, b_1, b_2$ : coeficientes da função da empresa

O volume por área foi definido a partir dos dados de volume individual e de densidade de planta por hectare. Com o estoque de volume de cada parcela para cada ano de medição foi possível calcular os valores de incremento periódico anual (Equação 3).

$$IPA_p = (V_{fp} - V_{ip}) / (I_{fp} - I_{ip}) \quad (3)$$

Onde:

$IPA_p$ : incremento periódico anual ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ )

$V$ : Volume ( $m^3 ha^{-1}$ )

$I$ : idade (anos)

$f$ : final

$i$ : inicial

$p$ : período de avaliação

Para o cálculo de resposta a adubação foi utilizada a equação (4) proposta por STAPE (2002), baseado no ajuste que considera que volumes são semelhantes, mas não iguais.

$$RA = [(IPA_B / V_B) - (IPA_A / V_A)] \times [(V_B + V_A) / 2] \quad (4)$$

Onde:

$RA$ : resposta a adubação

$IPA$ : incremento periódico anual ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ )

$V$ : volume inicial ( $m^3 ha^{-1}$ )

$A$ : tratamento A (testemunha)

B: Tratamento B (adubado)

Para abordagem econômica da resposta a adubação dos blocos foi utilizado o cálculo de valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa em moeda constante descrito na equação 5. Como premissa de viabilidade o VPL deverá ser maior ou igual a zero.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{R_j - C_j}{(1+i)^t} - I = 0 \quad (5)$$

Onde:

i: taxa de juros

C<sub>j</sub>: custo no final do ano j

R<sub>j</sub>: receita no final do ano j

n: duração do projeto em anos

I: investimento inicial

### 2.3. Análises estatísticas

A similaridade entre os pares de parcelas durante a instalação e a reposta em incremento periódico anual (IPA) após o tratamento de adubação foram avaliados pelo teste *t* pareado. A relação dos resultados das características de solo e análise nutricional das acículas com a resposta da adubação por bloco foram determinadas pelo coeficiente de correlação de Pearson.

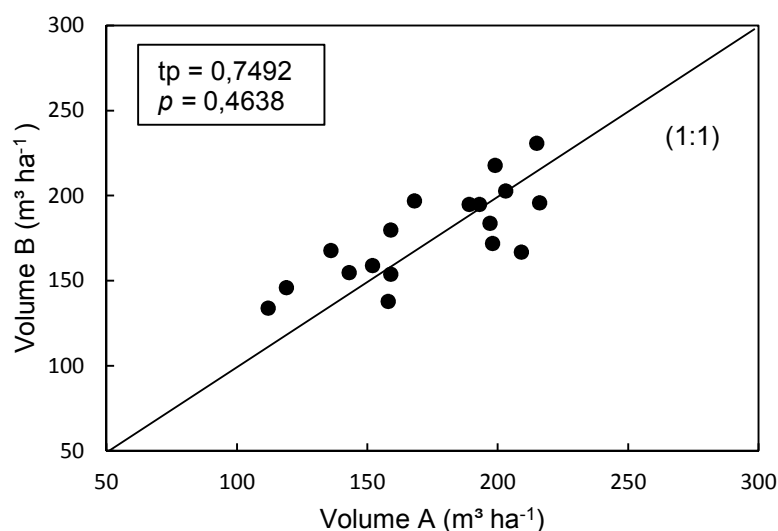
Foi realizada também análise de variância e teste de Tukey, com nível de significância de 0,05, para comparação da resposta a adubação dos blocos por região e classe de sítio. Para as análises utilizou-se o aplicativo “Statistical Analysis System” (SAS, 2014).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Instalação das parcelas gêmeas

No processo de instalação das parcelas os dados de volume inicial da primeira medição das parcelas testemunha e parcelas pares foram comparados pelo teste de t pareado ( $p < 0,05$ ) que apontou igualdade entre os pares de parcelas. Na Figura 07 observa-se a dispersão da relação entre o volume inicial das parcelas testemunha (A) e das parcelas a serem adubadas (B) mostrando que não há diferença no volume inicial ( $p = 0,4639$ ) no momento da instalação.

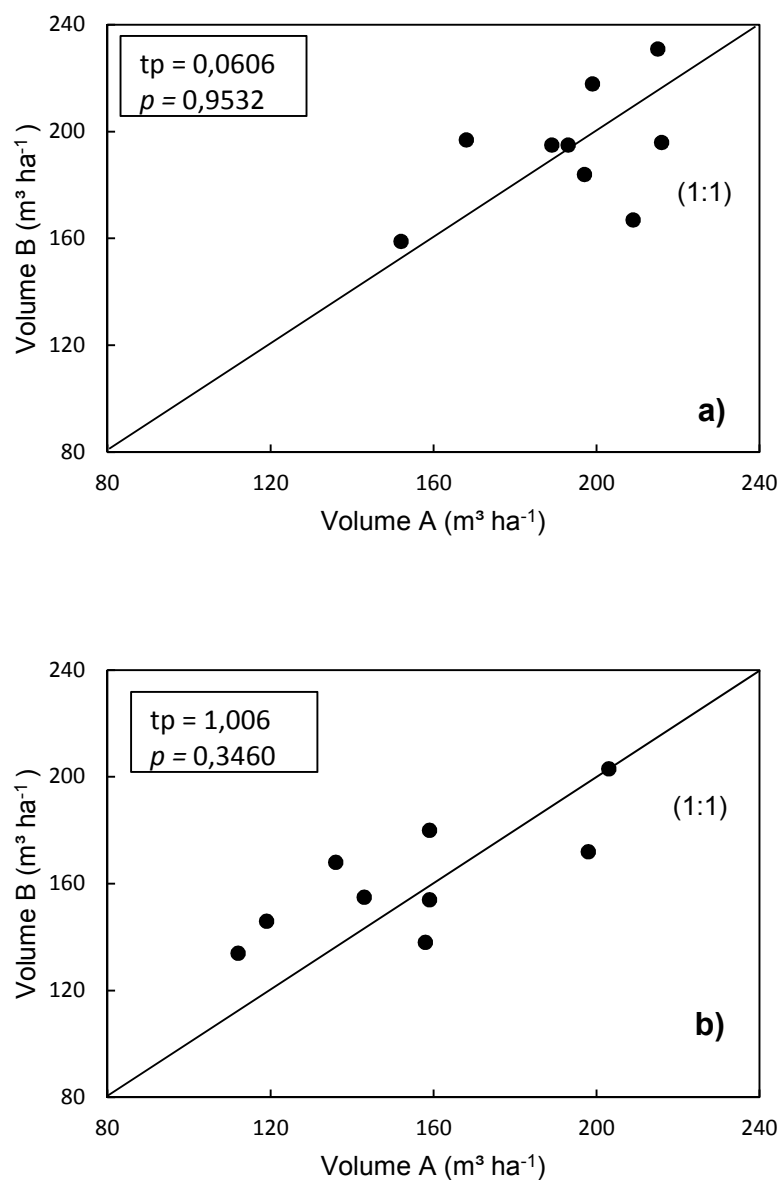
FIGURA 07 - VOLUME INICIAL DAS PARCELAS TESTEMUNHA (A) E A SEREM ADUBADAS (B) NO INVENTÁRIO DE ANTES DA ADUBAÇÃO



FONTE: O autor (2018).

O volume inicial médio das parcelas testemunha (A) foi de  $177,33 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  e das parcelas a serem adubadas (B) de  $172,61 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ . Analisando por região, a média dos blocos em Telêmaco Borba (Figura 08 a) de parcelas A e B foi de  $193,11$  e  $193,33 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ , respectivamente, para uma idade média na instalação de 8,2 anos. Já na região do Planalto Sul Catarinense (Figura 08 b) o volume médio inicial foi de  $154,11 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  para as parcelas A e  $161,11 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  para as parcelas B, com idade média de 8,3 anos.

FIGURA 08 - VOLUME INICIAL DAS PARCELAS TESTEMUNHA (A) E A SEREM ADUBADAS (B) NO INVENTÁRIO DE ANTES DA ADUBAÇÃO. a) PARCELAS EM TELEMACO BORBA E b) PARCELAS NO PLANALTO SUL CATARINENSE



FONTE: O autor (2018).

Em geral o volume inicial em cada par de parcela não foi exatamente igual, mas atendeu a exigência de similaridade para cada bloco.

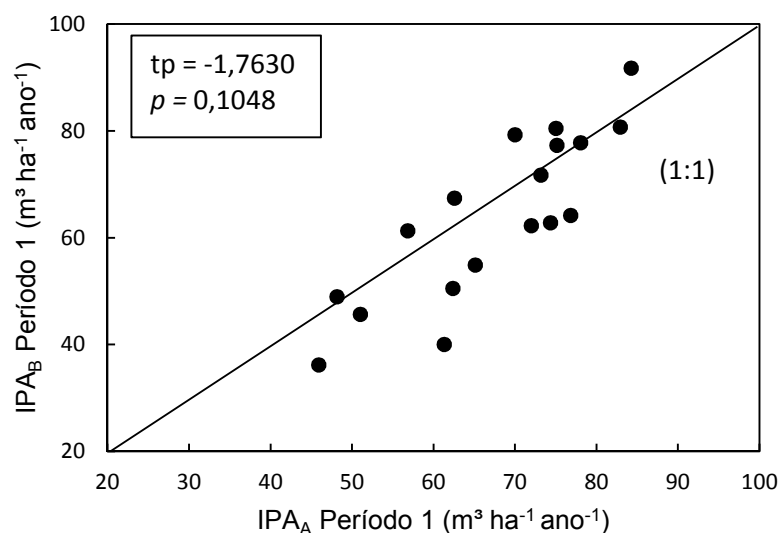
### 3.2. Incremento periódico em volume

No período 1 de avaliação compreendido entre as medições do ano de 2008 e 2012, o  $IPA_A$  das parcelas testemunha e  $IPA_B$  das parcelas adubadas não



apresentaram diferenças significativas (Figura 09) pelo teste de t ( $p = 0,1048$ ). As parcelas adubadas apresentaram um  $IPA_A$  médio de  $67,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , 5,3% maior em relação ao  $IPA_B$  das parcelas testemunhas que foi de  $61,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

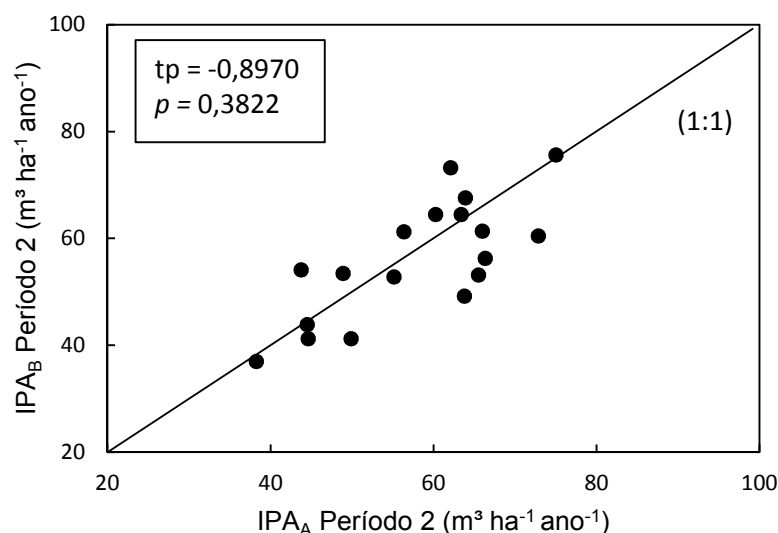
FIGURA 09 - RELAÇÃO ENTRE INCREMENTO PERIODICO ANUAL DAS PARCELAS DO TRATAMENTO TESTEMUNHA ( $IPA_A$ ) E TRATAMENTO ADUBADO ( $IPA_B$ ) NO PERÍODO 1



FONTE: O autor (2018).

No período 2 de avaliação compreendido entre as medições do ano de 2008 e 2016, o  $IPA_A$  das parcelas testemunha e  $IPA_B$  das parcelas adubadas, da mesma forma que no período 1, também não apresentaram diferenças significativas (Figura 10) pelo teste de t ( $p = 0,3822$ ). As parcelas adubadas apresentaram um  $IPA_A$  médio de  $57,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , 2,8% maior em relação ao  $IPA_B$  das parcelas testemunhas que foi de  $56,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

FIGURA 10 - RELAÇÃO ENTRE INCREMENTO PERIODICO ANUAL DAS PARCELAS DO TRATAMENTO TESTEMUNHA ( $IPA_A$ ) E TRATAMENTO ADUBADO ( $IPA_B$ ) NO PERÍODO 2



FONTE: O autor (2018).

O *IPA* no período 2 de avaliação para os dois tratamentos foi menor em relação ao período 1, caracterizando uma fase de competição maior entre os indivíduos das parcelas, competição intra-específica da população (BINKLEY; STAPE; RYAN, 2010) comum com o aumento da idade, e considerando que os povoamentos foram manejados sem desbates para produção de fibras para celulose.

Na tabela 11 podemos observar a variação do *IPA* em relação a região onde localizavam-se os blocos. Nos dois período avaliados o *IPA* foi maior nas parcelas da região do Planalto Sul Catarinense, porém com uma menor diferença entre o ritmo de crescimento entre as parcelas testemunha e adubadas, ficando em 0,3 e 2,2% no período 1 e período 2, respectivamente. Já na região de Telêmaco Borba, o *IPA* médio foi menor, mas a relação do ritmo de crescimento entre as parcelas adubadas e testemunha foi maior no primeiro e segundo período de avaliação.

TABELA 11 - INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL (IPA) DE *P. taeda* DAS PARCELAS DO TRATAMENTO TESTEMUNHA (A) E TRATAMENTO ADUBADO (B) NOS PERÍODOS 1 E 2 NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA E NO PLANALTO SUL CATARINENSE

Local	Período 1 (2008 – 2012)			Período 2 (2008 – 2016)		
	IPA ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ )		(%)	IPA ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ )		(%)
	Testemunha (A)	Adubadas (B)	B/A	Testemunha (A)	Adubadas (B)	B/A
Telêmaco Borba	52,0	58,6	12,7	49,9	51,7	3,6
Planalto Sul Catarinense	76,2	76,4	0,3	62,5	63,9	2,2

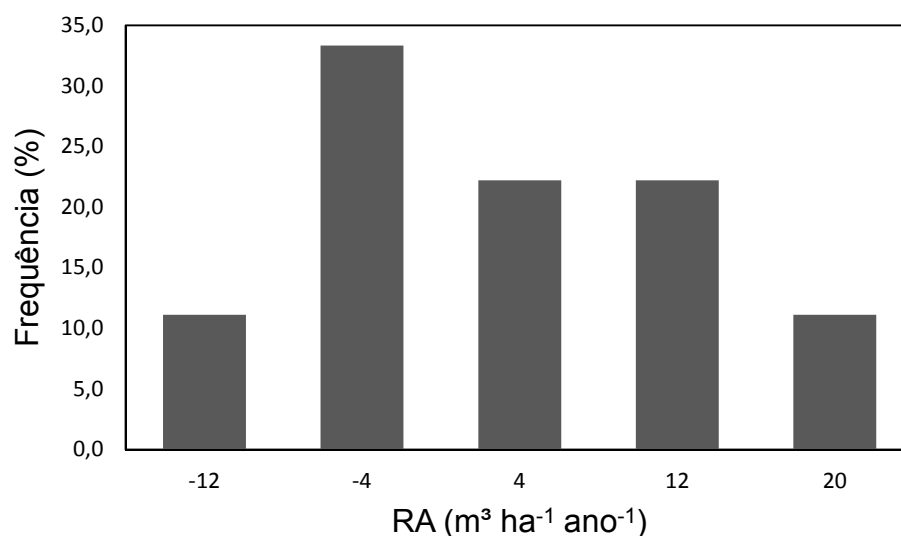
FONTE: O autor (2018).

A variação entre as regiões, tanto nos resultados da média do IPA e da relação entre os tratamentos, pode ser atribuída as diferenças existente nos fatores de produção, solo e clima, em cada região, proporcionando sítios de produção distintos. Os dados acima são semelhantes aos encontrados por Munhoz (2015) estudando a produtividade de *P. taeda* em diferentes sítios de produção no Sul do Brasil, que indica que a região do Planalto Catarinense apresenta os maiores níveis de produtividade, porém são menos responsivas quando submetidas a tratamento de adubação quando comparados a sítios na região dos Campos Gerais do Paraná.

### 3.3. Análise da resposta a adubação

A resposta a adubação é baseada na diferença dos incrementos periódicos de volume referente aos períodos de avaliação. O efeito positivo da adubação foi observado em 56% das parcelas, quando considerado o período de avaliação entre os anos de 2008 e 2016. Para esse período a resposta média de todos os blocos foi de  $3,5 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , variando de uma resposta negativa de  $-9,9 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  a uma resposta máxima positiva de  $27,6 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ . A tendência da distribuição da resposta a adubação se aproximou de uma distribuição normal (Figura 11), com 44% das parcelas apresentando resposta maior do que a média de todas as parcelas.

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DA RESPOSTA A ADUBAÇÃO (RA) NO PERÍODO 2 NOS BLOCOS EXPERIMENTAIS



FONTE: O autor (2018).

No estudo de adubação complementar em esquema de parcelas pares em plantios de eucalipto Ferreira e Stape (2009) e Silva (2011) encontraram resposta positiva ao tratamento de adubação em cerca de 80% dos pares de parcela. A alta frequência da resposta para o eucalipto foi justificada pelas áreas serem de solos mais arenosos e de baixa fertilidade, associada a períodos de redução da disponibilidade hídrica, favorecendo o aumento da produtividade eliminando possíveis limitações nutricionais presente nos plantios nas idades estudadas. Para *P. taeda* no Sudeste do Estados Unidos a adição de 224 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 28 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo em povoamentos de idades intermediárias promove ganhos médios de 3,5 m³ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em um período de oito anos (FOX et al, 2007). No estudo de Carlson et al (2014) na mesma região dos Estados Unidos o ganho médio foi de 3,7 m³ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

A resposta média da adubação por local (Tabela 12) não apresentou diferença estatisticamente significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com valor médio maior para a região do Planalto Sul Catarinense.

TABELA 12 - MÉDIAS DA RESPOSTA A ADUBAÇÃO (RA) POR LOCAL E CLASSES DE SÍTIO PARA *P. taeda*

Variáveis	Classe	RA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Local	Telêmaco Borba	2,0 a
	Planalto Sul Catarinense	4,9 a
Classe de Sítio <sup>1</sup>	Alto	-4,7 b
	Médio	6,5 c
	Baixo	7,6 c

\*Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>1</sup> Altura dominante na idade de 15 anos: Telêmaco Borba (alto: >25,5; médio: > 23,5 < 25,5; baixo: <23,5 m), Planalto Sul Catarinense (alto: >24; médio: > 22 < 24; baixo: <22 m).

FONTE: O autor (2018).

Quando observamos a resposta média geral por classe de sítio, as classes de potencial baixo e médio, apresentaram resposta média positiva ao tratamento de adubação. Já as parcelas enquadradas no sítio alto apresentaram na média resposta negativa ao tratamento de adubação. Estes resultados apontam que as áreas enquadradas pela classificação de sítio como baixo e médio, podem estar com a sua capacidade produtiva sendo limitada pela disponibilidade de nutrientes, já que quando foi feito uso de adubação apresentaram respostas positivas em volume no período observado. Os dados de Munhoz (2015), para um número maior de parcela do que o presente estudo, também indicam respostas positivas para o tratamento de adubação em sítios menos produtivos que apresentavam menor fertilidade do solo.

Os coeficientes de correlação de Pearson entre as médias das respostas a adubação e as variáveis de solo não foram significativos (Tabela 13), tanto quando observados por região, bem como analisados em conjunto. A baixa significância das correlações pode ser atribuída a grande variação existente das características de solo dos blocos, e também por este estudo conter um número baixo de blocos por região. Os baixos níveis de correlação são corroborados por Dedecek et al. (2008) no estudo de características químicas do solo com níveis de produtividade de *P. taeda* avaliados aos quinze anos. Já Reissmann et al (1987) estudando *P. taeda* na mesma idade indicada que o nível de 2 mg dm<sup>3</sup> de fósforo no solo limitou fortemente a produtividade. Para Rigatto, Dedecek e Mattos (2005) o teor de argila foi o que melhor

se relacionou com produtividade de *P.taeda*, sendo os solos mais argilosos os mais produtivos.

TABELA 13 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE VALORES MÉDIOS (CAMADA 0-40 CM) DE VARIÁVEIS EDÁFICAS E RESPOSTA ADUBAÇÃO (RA) POR REGIÃO PARA O *P. taeda*

Variáveis Edáficas	Coeficientes de Correlação de Pearson		
	Geral	Planalto Sul Catarinense	Telêmaco Borba
M.O (%)	-0,17 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>
P (mg dm <sup>-3</sup> )	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>
K (mg dm <sup>-3</sup> )	0,25 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,10 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,13 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,19 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>
Sat. Bases (%)	-0,18 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
Argila (%)	0,01 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> Não significativo

FONTE: O autor (2018).

A correlação entre os teores de nutrientes nas acículas e a resposta a adubação dos blocos foi significativa para o teor de fósforo na região do Planalto Sul Catarinense, e para os teores de fósforo e nitrogênio em Telêmaco Borba (Tabela 14). Na análise geral de todos os blocos somente para o teor de fósforo a correlação foi significativa.

TABELA 14 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O TEOR DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS E RESPOSTA ADUBAÇÃO (RA) POR REGIÃO PARA O *P. taeda*

Variáveis Edáficas	Coeficientes de Correlação de Pearson		
	Geral	Planalto Sul Catarinense	Telêmaco Borba
N (%)	-0,14 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>*</sup>
P (%)	-0,64 <sup>**</sup>	-0,63 <sup>**</sup>	-0,75 <sup>**</sup>
K (%)	-0,04 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>
Ca (%)	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
Mg (%)	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> Não significativo <sup>\*</sup>Significativo a nível de 5% de probabilidade <sup>\*\*</sup> Significativo a nível de 10% de probabilidade.

FONTE: O autor (2018).

Em *P.taeda* com idade de 22 anos Dedecek et al (2008b) para a região de Telêmaco Borba encontrou correlação entre maior produtividade com maiores teores de potássio e menores teores de cálcio nas acículas. Com idade semelhante Reissmann (2002) também encontrou correlação de maiores teores de potássio com sítios mais produtivos.

Os dados do presente estudo corroboram com os resultados de Alzate (2016) onde avaliando a adubação em idades intermediárias de plantios já estabelecido, no caso, para *P. radiata*, concluiu que a magnitude e duração de resposta é sítio-específica. Essa constatação torna necessário uma caracterização de sítio e indicadores de planta com mais detalhes para definir o comportamento e níveis de resposta aos tratamento de adubação.

### 3.4. Abordagem econômica da resposta a adubação

Para analisar a viabilidade econômica da resposta a adubação para os blocos que apresentaram ganho positivo em volume em função do tratamento de adubação foram consideradas as seguintes premissas:

- Investimento em insumo e mão-de-obra no valor de R\$ 900,00 ha<sup>-1</sup> realizado, em um único momento, após a instalação das parcelas;

- Preço médio da madeira em pé líquido de impostos ponderado por classe de diâmetro no valor de R\$ 56,8. m<sup>-3</sup> para a região de Telêmaco Borba e R\$ 47,4 m<sup>-3</sup> para o Planalto Sul Catarinense, baseados nos preços praticados pela empresa Klabin no último trimestre de 2017;
- Taxa real de desconto de 5%.

A viabilidade da resposta a adubação foi definida através do cálculo do valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa em moeda constante. Como premissa de viabilidade o VPL deverá ser maior ou igual a zero.

Igualando-se o VPL a zero a receita adicional gerada pelo incremento em volume foi de R\$ 1.266 ha<sup>-1</sup> conforme Tabela 15.

TABELA 15 – NÍVEIS DE RESPOSTA A ADUBAÇÃO (RA) NECESSÁRIA PARA RESULTADOS POSITIVOS DE VPL APÓS OITO ANOS DA ADUBAÇÃO REALIZADA EM *P. taeda* COM IDADE ENTRE SETE E OITO ANOS

LOCAL	Investimento Ano 8	Adicional em Receita Ano 16	Preço da madeira	Ganho em volume	RA
	(R\$)	(R\$)	(R\$ m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Telêmaco Borba	-900	1.266	56,8	22,2	2,8
Planalto Sul Catarinense	-900	1.266	47,4	26,7	3,3

FONTE: O autor (2018).

De acordo com os resultados da análise para que haja viabilidade econômica, nas parcelas que apresentaram ganho positivo com adubação, na região de Telêmaco Borba é necessário um nível de resposta de 2,8 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> no período de oito anos. Para essa região todos os blocos que apresentaram resposta positiva a adubação ficaram acima dessa referência. Já para a região do Planalto Catarinense é necessário um nível de resposta de 3,3 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Dessa forma 80% dos blocos apresentaram resposta positiva a adubação acima da referência para a região. Os dados de Moro (2015) em sua análise econômica para tratamento de adubação em *P.taeda* no Planalto Catarinense mostrou que o VPL foi menor do que a testemunha sem adubo, porém o período de avaliação foi de quatro anos, entre as idades de cinco e nove anos. Como o resultado econômico dos investimentos são influenciados diretamente pelo



tempo de avaliação, as análises de resposta a adubação deverão se aproximar ao máximo das idades planejadas para finalização do ciclo referente a idade de colheita a ser trabalhada.

#### 4. CONCLUSÕES

O esquema de parcelas pares foi eficaz para determinar os diferentes níveis de resposta do tratamento de adubação em povoamentos já estabelecidos com idades de meia rotação.

O *IPA* compreendido entre os anos de 2008 a 2016, das parcelas testemunha e adubadas, não apresentou diferença estatisticamente significativa, com o tratamento adubado apresentando um *IPA* médio de  $57,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , 2,8% maior em relação ao *IPA* da testemunha que foi de  $56,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

A resposta a adubação média de todos os blocos foi de  $3,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , variando de uma resposta negativa de  $-9,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a uma resposta máxima positiva de  $27,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A correlação entre as variáveis de solo e nutrientes nas acículas com a resposta a adubação não foi significativa, porém os blocos classificados com baixo e médio índice de sítio foram os mais responsivos.

Para resultado econômico positivo da adubação em meia rotação é necessário um nível de resposta de 2,8 e  $3,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para Telêmaco Borba e região do Planalto Sul Catarinense, respectivamente, em um período de oito anos.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALBAUGH, T. J.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; RUBILAR, R. A. Juvenile southern pine response to fertilization is influenced by soil drainage and texture. **Forests** 6, 2799–2819, 2015.
- ALLEN, H. L.; FOX, T. R.; CAMPBELL, R. G. What is ahead for intensive pine plantation silviculture in the South? **Southern Journal. Applied. Forestry**. 29(2):62–69, 2005.
- ALZATE, M. V. R.; RUBILAR, R.; MONTES, C.; ALLEN, H. L.; FOX, T.R.; SANFUEENTES, E. Mid-rotation response to fertilizer by *Pinus radiata* D. Don at three contrasting sites. **Journal of Forest Science**. 62, V.4, 153–162, 2016.
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; RYAN, M. G. Thinking about efficiency of resource use in forests. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 193, p. 5-16, 2010.
- CARLSON, C. A.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; ALBAUGH, T. J.; RUBILAR, R. A.; STAPE, J. L. Growth responses of loblolly pine in the southeast united states to midrotation applications of nitrogen, phosphorus, potassium, and micronutrients. **Forest Science**. 60 (1), 157–169, 2014.
- DEDECEK, R. A.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R.; LIMA, L. C. DE S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.
- FERREIRA, J. M. A. **Ganhos de produtividade de plantações clonais de *Eucalyptus urophylla* e suas correlações com variáveis edafoclimáticas e silviculturais**. 84 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- FERREIRA, J. M. A.; STAPE, J. L. Productivity gains by fertilization in *Eucalyptus urophylla* clonal plantation across gradients in site and stand conditions. **Southern Forests**, South Africa, v. 71, n. 4, p. 253-258, 2009.
- FOX, T. R. Sustained productivity managed forest plantations. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam. V. 138 p. 187 – 202. 2000.
- FOX, T. R.; JOKELA, E. J.; ALLEN, H. L. The development of pine plantation silviculture in the southern United States. **Journal of Forestry**, 105(7), 337-347. 2007.
- FOX, T.R.; ALLEN, H. L.; ALBAUGH, T. J.; RUBILAR, R.; CARLSON, C. A. Tree nutrition and forest fertilization of pine plantations in the southern United States. **Southern Journal. Applied. Forestry**. 31:5–11, 2007.
- IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2017**. São Paulo. 2017.

JOKELA, E.J., MARTIN, T.A. VOGEL, J.G. 2010. Twenty five years of intensive forest management with southern pines: Important lessons learned. **Journal of Forestry**. 108: 338–347, 2010.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: SBS, 2005. 160 p.

MORO, L. **Produtividade, ciclagem de nutrientes e índices do sistema DRIS em plantios de pinus submetidos à adubação NPK em três idades**. 92 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

MUNHOZ, J. S. B. **Influência dos fatores edafoclimáticos na produtividade e na eficiência do uso de recursos naturais do *Pinus taeda* L. sob distintos manejos no Sul do Brasil**. 141 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

REISSMANN, C. B.; SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O.; ZOTTLE, H. W.; BLUM, W. E. H. Crescimento e níveis de macro e micronutrientes em *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* sobre solos derivados do Grupo Itararé (Carbonífero). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**. v. 9. p.113-119. 1987.

REISSMANN, C. B. Exigências nutricionais nos plantios de pinus. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 12, n. 68, p. 34-40, dez. 2002.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

RUBILAR, R.; BLEVINS, L.; TORO, J.; VITA, A.; MUNÓZ, F. Early response of *Pinus radiata* plantations to weed control and fertilization on metamorphic soils of the coastal range, Maule Region, Chile. **Bosque**. 29:74–84, 2008.

SAS. 2016 **SAS Interprise Guide 7.12 for Windows Microsoft**. SAS Institute Inc., Cary, USA, 2016

SHIMIZU, J. Y.; SEBBEN, A. M. Espécies de Pinus na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. P. 49 – 74.

SILVA, R. N. L. **Resposta à fertilização de plantios comerciais de Eucalyptus e sua correlação com as características edafoclimáticas e silviculturais em diferentes regiões do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

STAPE, J. L. t **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in Northeastern Brazil**. Thesis (PhD) - Colorado State University, Fort Collins, 2002.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; JACOB, W. S.; TAKAHASHI, E. N. A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in *Eucalyptus* plantations as landscapes scales in Brazil. **Forest. Ecology Management**. v. 223, 358–362, 2006.

WELLS, C. G.; ALLEN, L. **When and where to apply fertilizer**. General Technical. Report SE-36. Asheville, NC: USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 23 p, 1985.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apontados nesta tese indicam que o trabalho de manejo da adubação em *Pinus taeda* deverá ser um item a ser abordado no planejamento de estabelecimento desta espécie pelos silvicultores. As respostas ao uso de adubação mostram ser altamente sítio-específica, sendo necessário um conhecimento prévio das características de solo e suas relações com o crescimento da espécie, para a tomada de decisão sobre o uso ou não da adubação.

Os ambientes de baixa fertilidade, em geral solos de textura mais leve, mostram resposta significativas ao uso de adubação fosfatada durante o estabelecimento do plantio. Essa adubação promoveu maior vigor e favoreceu o arranque inicial das plantas até o fechamento das copas. Esta estratégia de adubação inicial ganha destaque à medida que é possível observar uma maior homogeneidade que contribui com os ganhos em volume promovidos pelos tratamentos de adubação. A forma de dispor a adubação fosfatada não se diferenciou entre a forma localizada e superficial para uma dose de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Para a estratégia de adubação em plantios já estabelecidos, o esquema de parcelas pares se mostrou eficiente para capturar os níveis de resposta ao tratamento de adubação nos plantios com sete e oito anos de idades. Nessa idade onde o dossel já está fechado, os processos de ciclagem estão acontecendo e a competição entre as plantas aumentando, foi possível observar diferentes níveis de resposta. Da mesma forma que a adubação no estabelecimento do plantio, a adubação em meia-rotação foi dependente da qualidade do sítio, sendo as áreas de menor potencial produtivo as mais responsivas. Nessa estratégia, como a adubação se dá em idades de meia-rotação, o tempo de remuneração do investimento é menor até a idade de corte, e pequenos ganhos em incremento de volume já tornam essa opção economicamente positiva.

Os nutrientes aportado via adubação adicionam, além dos ganhos em volume, uma condição de manutenção do potencial produtivo do sítio ou a busca por essa condição, já que a introdução de materiais genéticos mais produtivos e ciclo de colheitas seguidos demandam quantidades maiores de nutrientes, que até o momento são fornecidos naturalmente pelo solo.

Ainda se faz necessário aumentar a rede experimental de adubação em *P. taeda* de maneira a cobrir a maior variação ambiental possível. Como citado anteriormente as respostas a adubação encontradas são sítio-específica, e consolidando os resultados existentes com os que serão gerados por uma rede mais robusta, será possível desenvolver modelos ajustados de predição de resposta técnica e econômica da adubação dessa espécie.

## REFERÊNCIAS

- ABRÃO, S. F. **Alterações físicas e químicas de um Cambissolo Húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações.** 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003.
- ADAM, W. M. **Composição química da serapilheira e raízes finas de *Pinus taeda* sob fertilização e calagem.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Estado do Paraná, Curitiba, 2015.
- ADAMS, M. B.; PENNELL, D.; CAMPBELL, R. G. Fine root distribution in a young loblolly pine (*Pinus taeda* L.) stand: effects of preplant phosphorus fertilization. **Plant and Soil**. 113, 275–278, 1989.
- ALBAUGH, T. J.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; RUBILAR, R. A. Juvenile southern pine response to fertilization is influenced by soil drainage and texture. **Forests** 6, 2799–2819, 2015.
- ALLEN, H. L.; FOX, T. R.; CAMPBELL, R. G. What is ahead for intensive pine plantation silviculture in the South? **Southern Journal. Applied. Forestry**. 29(2):62–69, 2005.
- ALZATE, M. V. R.; RUBILAR, R.; MONTES, C.; ALLEN, H. L.; FOX, T.R.; SANFENTES, E. Mid-rotation response to fertilizer by *Pinus radiata* D. Don at three contrasting sites. **Journal of Forest Science**. 62, V.4, 153–162, 2016.
- BALLONI, E. A.; JACOB, W. S.; SIMÕES, J. W. Resultados parciais de experimentação desenvolvida pelo setor de implantação florestal com diferentes espécies de *Pinus*. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 18, p. 1-117, jul. 1978.
- BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. J.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. Estudo de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF** n.15, p.1-14, 1977.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-165.
- BELLOTE, A. F. J.; DEDECECK, R. A. Atributos físicos e químicos do solo e suas relações com o crescimento e a produtividade de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 21 – 38, jul./dez. 2006.
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; RYAN, M. G. Thinking about efficiency of resource use in forests. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 193, p. 5-16, 2010.



BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico**. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BOOTH T. H.; JOVANOVIĆ, T. Improving descriptions of climatic requirements in the CABI Forestry Compendium. **A report for the Australian Centre for International Agricultural Research**. CSIRO - Forestry and Forest Products, Client Report n°. 758. 2000.

BOOTH, T.H.; JOVANOVIĆ, T.; NEW, M. A new world climatic mapping program to assist species selection. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 163, p. 111- 117, 2002.

CARLSON, C. A.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; ALBAUGH, T. J.; RUBILAR, R. A.; STAPE, J. L. Growth responses of loblolly pine in the southeast united states to midrotation applications of nitrogen, phosphorus, potassium, and micronutrients. **Forest Science**. 60 (1), 157–169, 2014.

COMERFORD, N. B.; BARROS, N. F. Phosphorus nutrition of forest trees. In: Sims TJ, Sharpley AN (eds) **Phosphorus: agriculture and the environment**. Agronomy monograph 46. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp 541–558, 2005.

DAVIDE, A. C. Seleção de espécies vegetais para a recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, Foz de Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 111-122.

DEDECEK, R. A.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R.; LIMA, L. C. DE S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L.; CAMILLO, R.J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.537-544, 2000.

ERNANI, P.R **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 230 p. 2008.

FAUSTINO, L. I.; BULFE, N.; PINAZO, M.; GRACIANO, C. Crecimiento de cuatro familias de *Pinus taeda* en respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo en el establecimiento de la plantación. **Revista Faculdade Agronomica**. Vol 111 (2): 54-63.201, 2012.

FERREIRA, C.; SILVA, H. D.; REISSMANN, C.; BELLOTE, A.; MARQUES, R. Nutrição de *Pinus* no sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa. Colombo: **Documentos Embrapa Florestas**, 2001. 23p.

FEREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, J. M. A. **Ganhos de produtividade de plantações clonais de *Eucalyptus urophylla* e suas correlações com variáveis edafoclimáticas e silviculturais.** 84 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FERREIRA, J. M. A.; STAPE, J. L. Productivity gains by fertilization in *Eucalyptus urophylla* clonal plantation across gradients in site and stand conditions. **Southern Forests**, South Africa, v. 71, n. 4, p. 253-258, 2009.

FERNÁNDEZ, R.; RODRÍGUEZ ASPILLAGA, F.; LUPI, A.; LOPEZ, E.; PEZZUTTI, R.; CRECHI, E.; PAHR, N.; NATIUCK, M.; CORTEZ, P. Respuesta Del *Pinus taeda* y la *Araucaria angustifolia* a la adición de N, P y K en la implantación. In: **SILVOARGENTINA I**, Governador Virasoro, Comentes, 2000. 1 CD-Rom.

FINGER, C. A G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.269 p.

FOX, T. R. Sustained productivity managed forest plantations. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam. V. 138 p. 187 – 202. 2000.

FOX, T.R.; ALLEN, H. L.; ALBAUGH, T. J.; RUBILAR, R.; CARLSON, C. A. Tree nutrition and forest fertilization of pine plantations in the southern United States. **Southern Journal. Applied. Forestry**. 31:5–11, 2007.

FOX, T.R.; JOKELA, E.; ALLEN, H.L. The evolution of pine plantations in the southern United States, P. 63–82 in **Southern forest science: Past, present, future**. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. SRS-75. 394 p. 2004.

FOX, T. R.; JOKELA, E. J.; ALLEN, H. L. The development of pine plantation silviculture in the southern United States. **Journal of Forestry**, 105(7), 337-347.2007.

FOX, T. R.; MILLER, B. W.; RUBILAR, R.; STAPE, J. L.; E. J.; ALBAUGH, T. J. Phosphorus nutrition of forest plantations: the role of inorganic and organic phosphorus In: BÜNEMANN, E. K.; OBERSON, A.; FROSSARD, E. **Phosphorus in action: Biological processes in soil phosphorus cycling**. Springer, Berlin, 2011 338 p.

GATIBONI, L. C.; SILVA, L. S.; ANGHINONI, I. Diagnóstico da fertilidade do solo e recomendação da adubação. In: Leandro Souza da Silva; Luciano Colpo Gatiboni. (Org.). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11ed. Frederico Westphalen: SBCS-NRS, 2016, v. 1, p. 89-99.

GENT, J. A.; ALLEN, H. L.; CAMPBELL, R.G.; WELLS, C.G. Magnitude, duration, and economic analysis of loblolly pine growth response following bedding and phosphorus fertilization. **Southern. Journal. Appleid. Forestry** 10:124 –128, 1986.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. **Documentos Florestais**, v.15, p. 1-23. 1995.

HAYWOOD, J. D.; BURTON, J. D. Phosphorus fertilizer, soils, and site preparation influence loblolly pine productivity. **New Forests**, 3, 275 – 287, 1990.

HIGA, R.C.V.; WREGE, M.S.; RADIN, B; BRAGA, H. V.; CAVIGLIONE, J.H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M.A.D.; GARRASTAZU, M.C.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, Y.M.M. **Zoneamento climático: *Pinus taeda* no sul do Brasil**. Colombo: Embrapa florestas, 2008.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2017**. São Paulo. 2017.

IBAÑEZ, C.; NUÑEZ, P.; PEZZUTTI, R.; RODRIGUEZ, F. Efectos de la roturación del suelo y fertilización con fósforo en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus taeda*, em suelos rojos del Nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. **Bosque** 25 (2), 69 – 76, 2004.

JOKELA, E.J., MARTIN, T.A. VOGEL, J.G. 2010. Twenty five years of intensive forest management with southern pines: Important lessons learned. **Journal of Forestry**. 108: 338–347, 2010.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; HERRERA PONCE, R. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: SBS, 2005. 160 p.

LANI, J. L.; CÁRDENAS, A. C.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Efeito de doses e localização de fosforo sobre o crescimento de eucalipto. **Revista Ceres**. v. 42, 497-506, 1995.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG, O. F.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.217-224, 2008.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic, 1995. 887 p.

MARTINS, A. G.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. P. Efeito da localização de adubos fosfatados sobre o crescimento de plantas de milho. **Revista Ceres**. v. 52, 939-961, 2005.

MCKEAND, S.; JOKELA, E.; HUBER, D.; BYRAM, T.; ALLEN, H.; LI, B.; MULLIN, T.J. Performance of improved genotypes of loblolly pine across different soils, climates, and silvicultural inputs. **Forest and Ecology Management**, Amsterdam, v. 227, p. 178–184, 2006.

MORALES, C. A. S. **Relação entre atributos do solo com a produtividade de *Pinus taeda* L.** 131 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2007.

MORO, L. **Produtividade, ciclagem de nutrientes e índices do sistema DRIS em plantios de pinus submetidos à adubação NPK em três idades**. 92 p. Tese de

Doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

MUNHOZ, J. S. B. **Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco.** 2011. 116p Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MUNHOZ, J. S. B. **Influência dos fatores edafoclimáticos na produtividade e na eficiência do uso de recursos naturais do *Pinus taeda* L. sob distintos manejos no Sul do Brasil.** 141 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

MUNIZ, P.J. da C; BALDANZI, G.; PÉLLICO NETO, S. de. Ensaio de adubação em *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* no Sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 5-13, 1975.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

PAIM, R. M. **Efeito da aplicação de lama de cal e cloreto de potássio sobre as variáveis químicas e biológicas do solo, estado nutricional e crescimento do *Pinus taeda* L. sobre Latossolo em Três Barras, SC.** 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PLASSARD, C.; DELL, B. Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. **Tree Physiology**. v. 30, p. 1129-1139, 2010.

POGGIANI, F. Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes. Piracicaba: **IPEF/Série Técnica**, v. 1, n. 2, p. D1-D11, 1980.

PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

REISSMANN, C. B. Morfologia dos horizontes de húmus em florestas de coníferas exóticas no sul do Brasil. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 5, p. 11-16. 1983.

REISSMANN, C. B. Exigências nutricionais nos plantios de pinus. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 12, n. 68, p. 34-40, dez. 2002.

REISSMANN, C. B.; SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O.; ZOTTL, H. W.; BLUM, W. E. H. Crescimento e níveis de macro e micronutrientes em *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* sobre solos derivados do Grupo Itararé (Carbonífero). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**. v. 9. p.113-119. 1987.

REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. cap. 5, p. 135-165.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

RUBILAR, R.; BLEVINS, L.; TORO, J.; VITA, A.; MUNOZ, F. Early response of *Pinus radiata* plantations to weed control and fertilization on metamorphic soils of the coastal range, Maule Region, Chile. **Bosque**. 29:74–84, 2008.

SAS. 2016 **SAS Interprise Guide 7.12 for Windows Microsoft**. SAS Institute Inc., Cary, USA, 2016.

SCHULTZ, R.P. **Loblolly pine: the ecology and culture of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. New Orleans: USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1997. 493p.

SHIMIZU, J.Y.; SEBBEN, A.M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. P. 49 – 74.

SILVA, R. N. L. **Resposta à fertilização de plantios comerciais de *Eucalyptus* e sua correlação com as características edafoclimáticas e silviculturais em diferentes regiões do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVA, H.D. da; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; GOMES, F.S. Adubação mineral e seus efeitos na produção de biomassa em arvores de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, n.8. **Anais...** CD ROM. São Paulo, 2003.

SIMONETE, M. A.; MORO, L.; CHAVES, D. M. & TEIXEIRA, C. F. A. Efeito da adubação de plantio em *Pinus taeda* L. aos cinco anos de idade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, Uberlândia, 2011. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. p.147-168.

STAHL, J. **Resposta inicial de *Eucalyptus* spp. a adubação fosfatada e potássica no Planalto Sul Catarinense**. 62 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2009.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in Northeastern Brazil**. Thesis (PhD) - Colorado State University, Fort Collins, 2002.

STAPE, J. L. Florestas plantadas: situação de cultivo, manejo e tendências. In: **Workshop on the sustainability of the Brazilian pulp and paper industry**. São Paulo: Ministério das Relações Exteriores/BRACELPA, 1997.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 920-930, 2008.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; JACOB, W. S.; TAKAHASHI, E. N. A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in *Eucalyptus* plantations as landscapes scales in Brazil. **Forest Ecology Management**. v. 223, 358–362, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009. 719 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. p. 174.

TREVISAN, E.; REISSMANN, C. B.; KOEHLER, J. M.; LIMA, J. C., Morfologia dos horizontes orgânicos acumulados sob povoamento de *Pinus taeda* L, em três sítios distintos. **Revista do Setor de Ciências Agrárias** v. 9, 59-62, 1987.

VARGAS, C, O. **Formas de carbono e macronutrientes do solo em florestas de Pinus em primeira e terceira rotação no Planalto Sul**. 102 p. Tese (Doutorado em Manejo do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2012.

VASQUES, A. G.; NOGUEIRA, A.S; KIRCHNER, F. F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero para pinus para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, p. 445 – 450, 2007.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L. & WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 199-206, 2005.

WELLS, C. G.; ALLEN, L. **When and where to apply fertilizer**. General Technical Report SE-36. Asheville, NC: USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 23 p, 1985.